المرجع في

التركيبات و التصميمات الكهربية

الخبرة العملية و الأسس النظرية

2019

أ. د. محمود جيلاني

كلية الهندسة - جامعة القاهرة



www.drgilany.com

المرجع في التركيبات والتصميمات الكهربية

2019



أ.د. محمـــود جيــــــلانى

الأستاذ بكلية الهندسة –جامعة القاهرة

drgilany@gmail.com

الطبعـة الثالثـة





اللهم لك الحمد كله ، ولك الملك كله ، وبيدك الخير كله ، وإليك يرجِع الأمرُ كُلُّه ، اللهم صل على محمد خاتم أنبيائك ورسلك. اللهم إني أبرأ من الثقة إلا بك. ومن الأمل إلا فيك ، ومن التسليم إلا لك ، ومن التفويض إلا إليك ، ومن التوكل إلا عليك ، ومن الرضا إلا عنك ، ومن الطلب إلا منك ، ومن الرجاء إلا فيك ، اللهم تتابع علـيَّ برُك ، واتصل خيرُك ، وكَمُلَ عطاؤك ، وعمَّتْ فواضلك ، وتمتْ نوافلك ، فاللهم أحسن ختامنا يا أرحم الراحمين.



مقدمة 2019

صدر هذا الكتاب في نسخته الأولى سنة 2010، وكنت وقتها أهدف من خلاله إلى تقديم كتاب يقرب الواقع العملي الذى يعيشه فئة معينة من المهندسين وهم المهندسون العاملون في مجال التركيبات الكهربية بعد التخرج إلى الطلاب، ثم كتبت النسخة الثانية منه في سنة 2013، وحاولت فيها تقديم المزيد من الربط بين الجانب الأكاديمي والحياة العملية. واليوم أقدم للقارئ المهتم نسخة 2019. وبالطبع سيكون السؤال الأول هو:

ما الجديد في نسخة 2019؟

أرى أن النسخ السابقة من هذا الكتاب قد عانت من مشكلتين:

1- المشكلة الأولى أن النسخة السابقة قد عرضت بعض المعدات بصورة مبسطة أقرب إلى المعلومات العامة، لكن في الواقع إذا أراد أحد أن يختار لأحد المشروعات الحقيقية واحدة من هذه المعدات سيجد أن الكتاب كان غير كاف للمساعدة في هذا الجانب، وهذا ما حاولت تجنبه في هذه النسخة. فعلى سبيل المثال كان الفصل الثاني يتحدث عموما عن مولد الديزل أو الـ UPS، لكن لم يكن ممكنا أن تختار حجم المولد بناء على هذه المعلومات السابقة، لكن في نسخة 2019 ستجد الأمر أكثر سهولة ووضوحا وأقرب للواقع العملي فعلا.

2- المشكلة الثانية أن النسخة السابقة – كما أشار العديد من المتابعين – أغفلت أحد أهم المعدات المستخدمة في التركيبات وهو المحرك الكهربي، فلم يكن ضمن المعدات الأساسية لا في الفصل الثاني ولا في الفصل الثالث، وقد تم تدارك ذلك بإضافة جزء هام في الفصل الثالث لكن دون التوسع فيه حتى لا يخرج الكتاب عن جو التركيبات ويتحول إلى كتاب في الآلات الكهربية. وفى الجزء المضاف تم شرح كيف يمكن اختيار القدرة المناسبة لمحرك في عدة تطبيقات مهمة وهى : السيور المستخدمة في المصانع، والأوناش، والعربات الكهربية الصغيرة، بالإضافة للمصاعد والمضخات.

وبالإضافة إلى حل المشكلتين السابقتين فإن نسخة 2019 تميزت بالآتي:

1- زاد الاهتمام بشكل كبير في هذه النسخة بالمشروعات الحقيقية، وتم وضع أمثلة كثيرة لاسيما في الفصل الثالث والخامس.

2- في هذه النسخة زاد الاهتمام بالترتيب المنطقي والزمني لعرض المعلومات، فالمقدم على تعلم هذا العلم يحتاج إلى التدرج والتنظيم في القراءة تماما كما هو الحال في الواقع الميداني. ولذا أضفت في الفصل الأول قصة ميلاد مشروع كهربي حقيقي، وخطوات إنتاجه داخل المكتب الاستشاري قبل الخروج للتنفيذ، وعرضت تفصيليا خطوات التصميم المبدئي الذى يتفق عليه المالك مع الاستشاري (Conceptual Design Steps)، من خلال نموذج حقيقي لأحد المشروعات الكبيرة. ثم عرضت أيضا خطوات ميلاد المشروع داخل شركة المقاولات، بدءا من مجرد التفكير في الدخول في هذا المشروع إلى خطوات دراسة العطاء إلى الخطوات المطلوبة لتجهيز موقع العمل قبل البدء في التنفيذ. كما أعدت أيضا ترتيب الفصل الثالث بالكامل، وهو من أكثر الفصول التي تغيرت في هذه النسخة، وقدمت فيه نماذج جديدة عملية لحسابات الأحمال وترتيبها زمنيا.

3- زاد الاهتمام في هذه النسخة أيضا بقراءة الـ Nameplates وكتالوجات الأجهزة، فاجتهدت ألا أترك جهاز دون التعريف به تفصيلا .

4- كما تم إعادة صياغة الكثير من المقاطع في كل الفصول، مع إضافة العديد من الصور والرسومات التوضيحية، بالإضافة بالطبع لتصحيح بعض الأخطاء التي نُبهت إليها من زملائي بحيث يمكن أن أقول أن هذه النسخة مختلفة بدرجة لا تقل عن 40% عن النسخ السابقة.

5- رغم أنى حذفت عشرات الصفحات من النسخ السابقة إلا أن عدد صفحات الكتاب إجمالا زادت بأكثر من 250 صفحة نتيجة الإضافات السابقة.

النسخة الورقية من الكتاب:

للأسف لا توجد نسخة مطبوعة من هذا الكتاب حتى الآن ، فقد وجدت طريقين للطباعة : الأول مكتبات تعرض سعرا معقولا لكن مستوى ردئ للطباعة ، أما الطريق الثاني فهى طباعة جيدة لكن بسعر مرتفع ، وفى هذه الحالة سيكون الكتاب الورقي غير متاح سوى للقادرين ، وهذا ما لا أقبله ، ومن هنا سيظل الكتاب متاحا على النت للجميع ، ومن أراد أن يطبع لنفسه نسخة ورقية فليفعل بالمستوى الذى يرضاه لنفسه فقط.

مع الإشارة إلى وجود بعض المكتبات للأسف تطبع الكتاب دون موافقة منى ودون مراجعة منى وهذا ما لا يليق بالمكتبات المحترمة.

هذا الكتاب

وقفٌ لله تعالى

﴿ رَبَّنَا تَقَبَّلْ مِنَّا إِنَّكَ أَنتَ السَّمِيعُ الْعَلِيمُ
رَبَّنَا وَاجْعَلْنَا مُسْلِمَيْنِ لَكَ وَمِن ذُرِّيَّتِنَا أُمَّةً مُّسْلِمَةً لَّكَ وَأَرِنَا مَنَاسِكَنَا وَتُبْ
عَلَيْنَآ إِنَّكَ أَنتَ التَّوَّابُ الرَّحِيمُ﴾

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم

إِذَا مَاتَ الإِنْسَانُ انْقَطَعَ عنه عَمَلُهُ إِلَّا مِن ثَلَاثَةٍ: إِلَّا مِن صَدَقَةٍ جَارِيَةٍ، أَوْ عِلْمٍ يُنْتَفَعُ بِهِ، أَوْ وَلَدٍ صَالِحٍ يَدْعُو له.

أ . د محمود جيلاني

زهراء المعادي – 2019 .

للتواصل مع المؤلف:

drgilany@gmail.com

شكر وتقدير

بالإضافة للزملاء الأفاضل الذين أثروا الكتاب بتعليقاتهم في النسختين السابقتين، فإني أتوجه بخالص الشكر لمن ساعد في خروج هذه النسخة الثالثة بهذه الصورة، وعلى رأسهم الأستاذ الدكتور عصام أبو الذهب الأستاذ بهندسة القاهرة الذى راجع هذه النسخة بجميع فصولها. ومن الزملاء أيضا بهندسة القاهرة الذين قاموا بمراجعة العديد من فصول الكتاب: الأستاذة الدكتورة دعاء خليل ود طارق بغدادي.

وخالص الامتنان لاثنين من المهندسين النابهين في مجال الاستشارات الكهربية : م سامح أشرف أبو ساعد) الديار السعودية)، و م شادي صلاح (ECG)، وكلاهما كان لهما بصمة مميزة في تطوير هذه النسخة بتعليقاتهم القيمة على معظم فصول الكتاب.

وأخيرا ، فالشكر واجب لطلابي بهندسة القاهرة ، ولكل من ساهم بالتعليق أو الإضافة أو التصحيح في هذا الكتاب.



نقلا من مقدمة الطبعة الأولى لهذا الكتاب:

التصميمات و التركيبات الكهربائية علم له سمة مميزة ، حيث يحتاج من يشتغل في هذا المجال إلى أن يلم ليس فقط بمجموعة من قواعد و أســس التصــميمات ، و لكن الأهم من ذلك يحتاج إلى ممارســة عملية واســعة و متعددة المجالات ، فلا نبالغ إذا قلنا أن أكثر من 70% من مهارات هذا العلم تسـتمد من الواقع ومن الممارســة العملية. ومن هنا تكمن أهمية هذا الكتاب الذي وضــعت فيه خلاصــة ســنوات طويلة من الخبرة العملية في سوق العمل بالإضافة الخبرة الأكاديمية التى هى الأساس فى شرح القواعد الأساسية التي تحكم عمليات التصميم والتنفيذ على حد سواء. والهدف من هذا الكتاب أن يصل بالقارئ إلى مهارة تصميم شـبكة كهربية بصـورة متكاملة ، مع اسـتيعاب الواقع العملي عند وضـع هذه التصـميمات وعند تنفيذها فى الواقع .

لماذا هذا الكتاب

لا شــك أن هذا الكتاب ليس الأول فى مجاله ، فقد ســبقه العديد من الكتابات فى نفس هذا المجال ، لكن بعضـها كان مبالغا مثلا فى الحرص على اسـتخدام المفردات العربية بشكل كبير ، فاسـتخدم من أجل ذلك مفردات غريبة تحتاج هى نفسها لترجمة ، حيث أنها ألفاظ غير مستعملة على الإطلاق فى الواقع العملي ، وليس لها وجود ســوى فى الموســوعات اللغوية ، ومن ثم أضـــاع كثير من قيمة المعلومات الموجودة فى الكتاب .

والبعض الآخر – مثل مجموعة الكتب الرائدة التى ألفها عدد من أسـاتذة كلية الهندسـة بجامعة الإسـكندرية – تعتبر بالفعل كتب مميزة لكنها غطت عددا محدودا من مجالات التمديدات الكهربية ، كما أن كل كتاب منها كان يخدم مجالا واحدا فقط دون التطرق لدراســـة تداخل هذه المجـالات لتكوين منظومة متكاملة للتركيبات الكهربية ، وهو ما يحتاجه المهندس بشدة فى الواقع العملي .

لكنى ومنذ أكثر من 25 عاما حين طالبا أحضــر محاضـرات أسـاتذتي بالكلية (أ.د ممدوح عبد العزيز – رحمه الله – وأ.د عصـــام أبو الذهب) ، كنت أســتمتع بالشــرح المميز والمعلومات الوفيرة فى محاضــراتهم

والتي كانت تتميز بربط الواقع العملي بالمعلومات النظرية ، وكنت أعجب وقتها من عدم توافر مراجع بالمكتبات تتبع هذا الأسلوب فى ربط الدراسة النظرية بالعملية .

وبعد سنين طويلة لى فى مجالي التدريس بالجامعات ، والممارسة العملية فى سوق العمل أحسست بمدى الحاجة لكتاب يقدم على نفس الصورة التى تعلمتها وأنا طالب ، ثم مارستها فيما بعد فى حياتي العملية كأستاذ بالكلية ، وكاستشاري ، وكمشرف على تنفيذ العديد من المشروعات الكهربية الكبرى بمصر ، فكان هذا الكتاب الذى آمل أن يكون مميزا فى أسلوب عرضه وحجم ونوعية المعلومات التى يحتاجها الطالب فى دراسته ، و المهندس فى حياته العملية ، فيسد بذلك ثغرة فى مكتبة المهندس العربي.

لمن هذا الكتاب

هذا الكتاب كتب أساساً لمهندسي الكهرباء العاملين فى هذا لمجال ، و لطلاب أقسام الكهرباء سواء فى الجامعة أو ما يعادله من التعليم التطبيقي والفني . ونظراً لأهمية الموضوع فقد روعي في أسلوب كتابته أن يكون مبسطاً من غير إخلال بعمق الدراسة ، كما أن كتابته باللغة العربية جعلته أيضاً مناسباً لقطاع عريض من الفنيين المتخصصين الباحثين عن فهم أساسيات ما يقومون به دون معوق من لغة أو تعقيد في الشرح.

وحتى يكون الكتاب ملائما لكل هذه الفئات فقد اشتمل فى كل باب على العديد من الأمثلة العملية المتدرجة فى المستوى ، فعلى سبيل المثال ، عند الحديث عن تصميم اللوحات العمومية قدمت أمثلة تبدأ من شقة صغيرة إلى عمارة فى إسكان متوسط وهكذا حتى وصلنا إلى برج إسكان فاخر .

وحيث أن العديد من مهندسي الكهرباء يعملون خلال سنوات عملهم فى أكثر من مكان وربما أكثر من دولة ، ومن هنا فأحب أن أشير لميزة جديدة فى هذا الكتاب وهى احتوائه على العديد من الأمثلة التطبيقية من أكثر من كود ، فهناك أمثلة من الكود المصري ، وأخرى من الكود الكويتي – حيث أنى كنت قد عملت حوالى عشر سنوات بالكويت كأستاذ بكلية الدراسات التكنولوجية هناك – إضافة إلى بعض الأمثلة من الكود القياسي الأمريكي ، وهذا سيجعل المهندس غير متهيب للانتقال من عمل لآخر أو من دولة لأخرى.

لغة الكتاب

لغة الكتاب هى اللغة العربية ، لكن لا شك أن شيوع المصطلحات الإنجليزية جعلت كثير من العاملين فى المجال يستسهلون التعامل بالمصطلح الإنجليزي ، بل ربما لا يفهمون الترجمة العربية ، وهذا واقع يجب الاعتراف به ، ولذ فقد استخدمت الترجمة العربية للمصطلحات الأجنبية فقط فى مواضع قليلة من الكتاب ،

والتزمت بذكر المصطلح باللغة الإنجليزية مباشرة – وبدون ترجمة – فى أغلب صفحات الكتاب ، و لا يخفى على أحد أن هذه الطريقة هى الطريقة المستخدمة فى كافة جامعاتنا : فالأستاذ يشرح كل شيء باللغة العربية عدا المصطلحات ، وهو الأسلوب المتبع فى هذا الكتاب.

فصول الكتاب.

الكتاب يبدأ **بالفصل الأول** الذى يعرض لأدوار كل طرف من الأطراف المشاركة فى إنجاز مشروع كهربي ، ويعرض لملامح التنسيق بين التخصصات الهندسية المختلفة مع مهندس الكهرباء بالمشروع ، ويعرض أيضا للخطوات العامة فى تصميم وتنفيذ الأعمال الكهربية . كما يتضمن الفصل تفاصيل المتطلبات اللازمة لتصميم وتنفيذ الأعمال الكهربية سواء المتطلبات المعمارية أو الميكانيكية ، أو غيرها. ويشتمل على شرح للمفردات والمصطلحات الشائعة فى عالم المشروعات الكهربية من قبيل : مناقصة ، ممارسة ، خطاب ضمان ، مهندس استشاري ، كراسة الشروط والمواصفات ، مقاول الباطن ، إلخ.

وفى **الفصل الثاني** يتم التعرف على المواصفات العامة للمعدات الأساسية التي تتكون منها أي شبكة كهربية و هي أربعة مجموعات:

المجموعة الأولى وهى مجموعة الـ Power Handling Equipment وتشمل لوحة الجهد المتوسط ، والمحول ، ومولدات الطوارئ ، ولوحات التوزيع Distribution Boards بأنواعها المختلفة ، و التى يلحق بها عنصرين آخرين هما الـ UPS والـ ATS .

أما المجموعة الثانية فتضم مجموعة نظم الـ Wiring and Raceways وتشمل الكابلات والموصلات بأنواعها المختلفة ، ويلحق بها دراسة طرق التمديدات المختلفة مثل استخدام حوامل الكابلات (Cable Trays) ، واستخدام الـ Bus Duct ، والـ Raceways ، والمواسير (Flexible & Rigid Conduits) إلخ.

و فى المجموعة الثالثة ندرس منظومة الحماية لشبكة التمديدات الكهربية من خلال دراسة أجهزة الـ CBs بأنواعها والفيوزات.

وأخيرا ، فتضم المجموعة الرابعة مجموعة الأحمال ومعدات التحكم Control and Utilization Equipment مثل لمبات الإنارة والمحركات وأجهزة التكييف ، و الـ Contactors ، والمفاتيح بأنواعها المختلفة (One-way, Two-way, Change-over , Cross-over switches) وغيرها ، بالإضافة إلى مجموعات التيار الخفيف والتي تشمل التلفونات وأجهزة الإنذار ضد الحريق والإيريال

المركزي ، وغيرها. والفصل الثاني يتحدث بالتفصيل عن مواصفات أغلب – و ليس كل – العناصر السابقة فى المجموعات الأربعة.

ثم نقدم فى **الفصل الثالث** شرحا تفصيليا عن تقدير الأحمال Load Estimation لجميع أنواع الأحمال (إنارة ، تكييف ، إلخ) وكذلك تقدير أحمال أنظمة الحركة مثل المصاعد ، وطرق تخفيض الأحمال التعاقدية باستخدام تحسين معامل القدرة ، وذلك كله تمهيدا لشرح مبادئ تصميم الدوائر الفرعية الخاصة بمختلف أنواع الأحمال فى **الفصل الرابع** ، والذى نقدم فى الجزء الأول منه شرحا تفصيليا لتصميم كافة أنواع الدوائر الفرعية ، باستخدام عدة أشكال من المواصفات القياسية مثل الكود القياسي الأمريكي National Electric Code (NEC) ، وكذلك قدمنا أمثلة تطبيقية باستخدام مواصفات أخرى مثل المواصفات المصرية و الكويتية والسعودية.

على أن المهندس يحتاج بشدة إلى التمكن من بعض أدوات التصميم المتقدمة من أجل اختبار صحة التصميم ومراجعة القيم المختارة في المراحل السابقة مثل :

- طرق مراجعة التحمل الحرارى للكابلات.
- طرق حساب الهبوط في الجهد Voltage Drop و التأكد من عدم تجاوز قيمته للقيم المحددة بالمواصفات .
- طرق حساب تيارات القصر Short Circuit و التأكد من تحمل عناصر الشبكة الكهربية كالكابلات الـ CBS لهذه القيم العالية من التيارات خلال لحظات الأعطال إن حدثت.

ونعرض لهذه الأدوات الثلاثة تفصيلا فى **الجزء الثاني من الفصل الرابع.**

وعند هذه المرحلة يكون القارئ قد صار قادرا على تصميم ما يعرف بلوحات التوزيع الفرعية والتي نشرحها فى بداية **الفصل الخامس**. وحيث أن أغلب المشاريع تشتمل على عدد كبير من هذه اللوحات الفرعية ومن ثم فإن القارئ سيحتاج لدراسة الجزء الأخير من **الفصل الخامس** الخاص بتصميم لوحات التوزيع العمومية ، وشبكات التوزيع . وهذا الفصل يشتمل أيضا على عدة أمثلة عملية تطبيقية تبدأ بتصميم لوحات عمارة للإسكان المتوسط ، ثم نتدرج حتى نصل إلى تصميم لوحات برج سكنى فاخر. ونختم الفصل بدراسة تغذية مصنع كبير ، حيث التركيز يكون أكثر على مرحلة Medium Voltage دون الدخول في تفاصيل الأحمال الصغيرة بالمصنع (الجهد المنخفض).

وقد أضفت بعد ذلك **الفصل السادس** لتصميم شبكات الأرضي بالمباني السكنية ، حيث نتعرض فى هذا الفصل للعديد من النقاط الهامة المتعلقة بموضوع التأريض من قبيل تأثير التيار على جسم الإنسان ومكونات نظام الأرضي ، والأشكال المنوعة لتنفيذ شبكة الأرضي ، وطريقة توزيع الجهد الناشئ عن مرور التيار بالأرض ، وهو مدخلنا للتعرف على مصطلحات جهد الخطوة ، وجهد اللمس ، ونختتم الفصل بالحديث عن نظم التأريض المختلفة (TN-C-S, TN-S, TT, IT, TN-C) عند المستهلك ، وأيضا عند مصادر التغذية ، ومميزات كل نظام منهم وطرق قياس مقاومة الأرضي.

وخصص **الفصل السابع** لحسابات وتصميمات الإنارة ، وفيه ندرس المتطلبات اللازمة لدراسة علم الإضاءة والكميات والمصطلحات الأساسية فى هذا العلم ، وندرس فيه أيضا العديد من سمات وخصائص وحدات الإنارة المختلفة ، ونقدم نماذج لحسابات الاستضاءة بطرق مختلفة متضمنة العديد من الأمثلة ، ونعرض كذلك للمشاكل العملية فى هذا المجال. ونختتم الفصل بالحديث عن إضاءة الشوارع وبعض المتطلبات العملية فيها.

و **الفصل الثامن** والأخير بالكتاب يعرض لبعض تفاصيل عمليات اختبار واستلام الأعمال الكهربية بعد انتهاء التنفيذ.

الفصل الأول

الأعمال الكهربية الاستشارية والتنفيذية

1

الفصل الأول

الأعمال الكهربية الاستشارية والتنفيذية

Electrical Works

تصميم منظومة الأعمال الكهربية فى أى مبنى يعتبر جزءا من عمليات التصميم المتكاملة فى المبنى، والتي تبدأ بالتصميمات المعمارية، ثم تتابع الأعمال مثل الأعمال الإنشائية (أساسات و هيكل خرساني و حوائط، إلخ) ، والأعمال الصحية (الصرف الصحي ومضخات المياه إلخ) ، والأعمال الميكانيكية (التكييف، والتهوية، والمصاعد، وشبكة الحريق إلخ) ، وأعمال التيار الخفيف (التليفونات، والتلفزيون المركزي، و نظام الاستدعاء الآلي، إلخ) ، وأعمال التشطيبات الداخلية و الخارجية، وغيرها.

ومعظم هذه الأعمال تتطلب تغذية كهربية بمتطلبات معينة، ومن ثم فالأعمال الكهربية هى أكثر الأعمال تداخلا مع الأعمال الأخرى، ومن هنا تبرز أهمية دراسة التصميمات الكهربية بعناية فائقة، لأنها ستؤثر على كافة الأعمال الأخرى بالمبنى.

1-1 الأطراف المشاركة فى المشروع الكهربي

في هذا الجزء سنعرض دورة مشروع كهربي من خلال دراسة العلاقة بين أربعة أطراف :

1- المالك (مالك المشروع).

2- الاستشاري (مكتب الإشراف الهندسي).

3- المقاول (شركة المقاولات التى تقوم بتنفيذ الأعمال ويندرج معها الموردين).

4- المشـــرف على تنفيذ أعمال الكهرباء (وهم فئات متعددة منهم مســئولي الاختبارات والتشـــغيل والأمان إلخ).

1-1-1 المالك

المالك هو نقطة البدء فى أى مشـــروع، وهو قد يكون فردا أو شـــركة أو غير ذلك، هو الذى يحدد طبيعة المبنى واســتخداماته، فعند تصــميم برج مثلا يحدد المالك كم من الأدوار يريد أن يجعله أدوارا تجارية، وكم منها سكنية أو إدارية. وعليه ستختلف التصميمات المعمارية والحسابات الكهربية وغيرها بناء على طلبات المالك. وعلاقة المالك تكون مباشـــرة ووثيقة مع المهندس المعماري وكذلك مهندس الديكور، أما مهندس الكهرباء فعلاقته بالمالك أقل من حيث شـــدة الارتباط، اللهم إلا إذا كان للمالك متطلبات فنية خاصـــة بتوزيعات الإنارة أو نوع وحدات الإنارة وطرق التحكم فيها.

1-1-2 الاستشاري

يقوم المهندس الاســتشــاري للأعمال الكهربية بوضــع التصــميمات الكهربية للمشــروع، وإعداد مخططات التنفيذ، ومواصفات عمليات التنفيذ. وفى أغلب المشاريع يكون الاستشاري هو المشرف على التنفيذ أيضا، وهذا أفضــل من ناحية أنه الأعلم بالتصــميم ومتطلباته، لكن البعض قد يفضــل أن يكون المشــرف على التنفيذ جهة أخرى لضــمان حسـن المراجعة ومتابعة أى أخطاء قد تكون موجودة فى تصـميم الاسـتشـاري. وأهم جزء فى دور الاســتشــاري أن يراعى الدقة المتناهية فى توصــيف الأعمال حتى إذا - لا قدر الله - حدث خلاف بين الأطراف تكون هذه المواصفات حكما أمينا بين الخصوم.

1-1-3 المقاول (الشركة المنفذة)

والشركة المنفذة أو شركة المقاولات تتكون أساسا من مجموعة من المهندسين، يشرفون على مجموعة من الفنيين، ودورها هو تنفيذ الأعمال الواردة فى مخططات المشــروع التى أعدها الاســتشــاري بالمواصــفات المحددة. وغالبا فى المشروعات الكبيرة تكون هناك شركة رئيسية تنفذ المشروع، وفى كثير من الأحيان تقوم هذه الشـركة الأم بتنفيذ الأعمال من خلال بعض مقاولي الباطن Sub-Contractors (شـركات أصـغر)، حيث تكون كل واحدة من هذه الشـركات الصـغيرة مختصـة بتنفيذ جزء من المشـروع الكبير لضـمان سـرعة الإنجاز. وعموما فإن من أهم مسؤوليات المقاول ما يلى:

1- الالتزام التام بقواعد الأمان Electric Safety أثناء تنفيذ الأعمال.

2- يجب أن تخضـــع جميع أعمال التركيبات الكهربية التى ينفذها المقاول للتجارب واختبارات التشــغيل والأداء والسلامة اللازمة لتأكيد صلاحيتها وكفاءتها ومطابقتها للمواصفات.

3- جميع التجارب والاختبارات التى يتم إجراؤها تكون على نفقة المقاول وتجرى بواســـطة عمالة أو مقاولي الباطن لـه ومعداته وبأجهزة قياس تم معايرتها Calibrated حديثاً يقدمها المقاول طبقاً لطلب المهندس.

4- يجب أن يقوم المقاول بتوريد كافة المهمات والأدوات والمعدات والأجهزة الكهربية اللازمة لعمالة أثناء تنفيذ أعمال الإنارة والكشـــافات ولوحات التوزيع وكابلات التغذية وخلافه، ويمنع منعاً باتاً أن يقوم المقاول ولو بصـــفة مؤقتة باســـتخدام أى من المهمات والأدوات والمعدات والأجهزة الكهربية الموردة بغرض التركيب فى جزء معين من أجزاء المشروع.

5- على المقاول أن يزيل من الموقع جميع المنشـــآت المؤقتة والأعمال المؤقتة من كل نوع مع نقل المخلفات الخاصـــة إلى المقالب العمومية وأن يرمم كل التلفيات فى أعمال الدهانات والناتجة عن التركيبات وذلك فور الانتهاء من أعمال التعاقد.

6- عمل لوحات تنفيذية Shop Drawings والتي يجب أن يراعى فيها بدقة التنسيق مع التخصصات الأخرى. وعلى المقاول تقديم رســـومات التنفيذ موضـــحاً عليها أبعاد تنفيذ وطريقة تثبيت وتركيب الأعمال وكذلك مســـارات الكابلات والتمديدات الكهربية قبل البدء فى التنفيذ. وتشـــمل الرســـومات التنفيذية ما يلي:

- مسارات المواسير وأنواعها وطريقة تثبيتها.
- عدد الكابلات / الأسلاك ومقاطعها داخل كل من المواسير.
- أبعاد تثبيت المخارج (Socket) من المحاور.
- قطاعات جميع المهمات، ســعات المفاتيح، تيار القصــر Short Circuit Current عند نقاط التغذية المختلفة.

- أماكن الصــواعد وعددها وأقطارها والمســافات البينية وطريقة التركيب والتثبيت، وأسـلوب الحماية من الحريق للصواعد أو الحد من انتشاره.
- أماكن اللوحات الفرعية والعمومية وأبعادها وطريقة تثبيتها ودخول وخروج الكابلات / الأســـلاك إلى ومن اللوحات.
- كل التفاصيل اللازمة لبيان تركيب أو تثبيت جزء معين من المنظومة.
- رسم/ رسومات لتوضيح العلاقات بين الأعمال المختلفة.

7- وبعد تقديم هذه الرسـومات التنفيذية يقوم المشـرف على التنفيذ بدراسـتها ثم اعتمادها، وتعاد نسـخة منها للمقاول مكتوب عليها إحدى العبارات التالية:

- "تعتمـد" (Approved)، ويجـب على المقـاول توريد وتركيـب وتنفيذ التوصـــيلات والمعدات والمهمات التى تم اعتمادها بموجب هذه العبارة.
- "تعتمد طبقاً للملاحظات "(Approved as Noted)، ويجب على المقاول توريد وتركيب كل ما يلزم لتنفيذ الملاحظات المشروطة فى الاعتماد.
- "تعدل / ترفض ويعاد تقديمها" (Revise and Resubmit)، وفى هذه الحالة لا يكون للمقاول الحق فى التوريد أو التركيب أو التنفيذ.

وفي بعض المكاتب يستخدم مصطلح Code-A، Code-B، Code-C للحالات الثلاثة السابقة.

8- إعداد لوحات الـ As-Built، وهى اللوحات النهائية بعد إتمام تنفيذ المشروع، وهى غاية فى الأهمية لأن الواقع العملي يؤكد أن حجم التغييرات على مواضـــع المعدات ومســـارات الكابلات الواردة في اللوحات التصـــميمية والتنفيذية يمكن أن يكون كبيرا نتيجة ظروف العمل، ومن ثم يجب أن يكون لدينا لوحات نهائية للأعمال الكهربية تكون هى المرجع الوحيد للمهندس المشـــرف على صـــيانة المبنى فيما بعد.

1-1-4 المشرف على التنفيذ

المشرف على التنفيذ هو أيضا أحد المهندسين، وسواء كان هذا المشرف هو الاستشاري نفسه أو كان مهندسا من قبل المالك فسوف تكون من مسؤولياته:

- مراجعة البرنامج الزمنى لتوريد المهمات اللازمة.
- مراجعة البرنامج الزمنى لتنفيذ الأعمال الكهربية مع مراعاة التنسيق مع الأعمال الأخرى (إنشائية – معمارية – ميكانيكية – صحية – تكييف هواء) بحيث تتم جميع الأعمال على أكمل وجه وفى خلال الزمن المحدد لكل من هذه الأعمال.
- التأكد من قيام المقاول بتجهيز مخزن مناسب للمهمات.
- التأكد من قيام المقاول بتحقيق اشتراطات الأمن الصناعي Industrial Safety بما فى ذلك توفير تسهيلات الإسعافات الأولية.
- اعتماد العينات المقدمة للمواد والمهمات التى سيجرى توريدها Material Submittal Approval، مع الحفاظ على هذه العينات إلى أن تنتهى جميع الأعمال، فمن المشاكل المشهورة أن يتقدم المقاول بعينة من الكابلات مثلاً ثم ينفذ بنوعية أخرى، فإذا كان من الصعب على مهندس الإشراف الاحتفاظ بالعينة لكبر حجم الجهاز مثلا فعلى الأقل يجب أن يطلب من المقاول أن يتقدم بكتالوجات الأجهزة التى سيوردها قبل أن يبدأ فى التوريد، وأن يأخذ موافقة المشرف والاستشاري عليها كتابة.
- مراجعة المواد والمهمات الموردة من حيث مطابقتها للمواصفات وللعينات السابق تقديمها ولا يسمح بتوريد غير المطابق منها.
- التأكد من وجود الكتالوجات الفنية لكل المهمات والأجهزة الموردة.
- التأكد من وجود شهادات اختبار الطراز (Type test) أو شهادات الاختبارات التى أجريت على المهمات فى المصنع قبل التوريد (Routine test).
- التأكد من وجود واعتماد جميع الرسومات التنفيذية (Shop drawings).
- الإشراف على الاختبارات اللازمة Testing عند استلام الأعمال من المقاولين فى نهاية المشروع.

- متابعة الحصول على اعتماد أى تعديلات تجرى على الرسومات التنفيذية أثناء التنفيذ.
- التأكد من وجود قوائم تعليمات التشغيل والصيانة للمهمات التى سيتم تركيبها.
- التأكد من إجراء التدريب الملائم لطاقم التشغيل بواسطة المقاول أو الشركات الموردة للمهمات.
- التأكد من وجود قوائم بقطع الغيار المطلوبة لضمان التشغيل الجيد لمدة خمسة سنوات بعد سنة الضمان طبقاً للوارد فى العطاء المقبول.
- التأكد من إعداد رسومات الحفظ النهائية As-Built ومطابقتها بما تم تنفيذه.

ونشير هنا إلى أن الاتحاد الدولي للمهندسين الاستشاريين International Federation of Consultant Engineers, IFCE أعد نماذج لعقود تشمل جميع أطراف المشروع، واشتهرت هذه النماذج حسب ألوانها، فالكتاب الأحمر يمثل نموذجا للعقد بين المالك والمقاول فى الأعمال الإنشائية، أما الكتاب الأصفر فيعطى نموذجا لعقد الأعمال الكهربية والميكانيكية. وهناك أيضا الكتاب الأبيض وفيه شروط المالك مع الاستشاري، إلخ.

مع ملاحظة أن لدينا مشرف على العمالة الفنية داخل الموقع وهو من يسمى "الفورمان"، وهو رئيس العمال وغالبا يكون التواصل مباشرا بين المهندس المشرف على التنفيذ وبين الفورمان، ثم ينقل الفورمان تعليمات المهندس بأسلوبه وطريقته إلى بقية العمالة الفنية.

1-1-1 دورة ميلاد المشروع Project Life Cycle

نشير في نهاية هذا الجزء إلى أن الـ Project Life Cycle تنقسم إلى عدة مراحل، وفى كل مرحلة منها هناك أدوار لكل طرف من الأطراف الأربعة السابقين. والمراحل هى:

1- **مرحلة ما قبل التصميم** : وهذه المرحلة يشترك فيها المالك والاستشاري فقط، حيث يكون دور المالك هو تحديد الـ Scope of Work، SOW الخاص بالاستشاري. ويكون دور الاستشاري هو عمل الدراسات المبدئية للمشروع بناء على الـ SOW.

وتبدأ أول مهام الاستشاري في هذه المرحلة بعمل ما يسمى Feasibility Studies، فيقوم كل قسم داخل المكتب الاستشاري بعمل الدراسات المبدئية فيما يخصه بناء على لوحات المعماري المبدئية (قابلة للتعديل بعد ذلك).

على سبيل المثال يقدم قسم الكهرباء بالمكتب دراسة عن المبادئ التي سيرتكز عليها التصميم وهى التي تسمى بالـ Conceptual Design، من قبيل أسلوب التغذية الرئيسية، هل سيعتمد على موزع خاص متصل مباشرة بالمحطة؟، هل سيكتفى بالربط بالشبكة عن طريق RMU؟، ما هي نسبة التوليد الاحتياطي التي ستستخدم؟، ما هي مواصفات الـ Bulk Equipment أي المعدات الرئيسية ؟، ما هو الأسلوب الذى سيعتمده من أساليب نظم الإضاءة (بصفة عامة)؟، إلخ.

ويقدم قسم التكييف رأيه في الأسلوب الأمثل لمنظومة التكييف وهل سيستخدم وحدات منفصلة؟ أم سيستخدم تكييف مركزي؟، إلخ. وبناء على هذه الدراسات يمكن أن يكون هناك تعديلات معمارية، ولذا فالعبء الأكبر في هذه المرحلة يقع على المهندس المعماري.

2- **مرحلة التصميم :** هذه المرحلة خاصة بالاستشاري فقط، والمنتج النهائي لها هو مجموعة اللوحات التصميمية، وجداول حصر الكميات، والمواصفات النهائية، والتقدير النهائي للتكلفة. و يمكن تقسيم مرحلة التصميم لعدد من المراحل كالتالي:

- **مرحلة التصميم المبدئي Conceptual Design**

خلال هذه المرحلة يقوم مهندس الاستشاري (المصمم) بإعداد الحسابات التقديرية للقدرة المطلوبة لتغذية الأحمال (Total Demand Load) للمشروع، و كذلك تحديد مساحات الغرف الخدمية (غرف الكهرباء) المطلوبة من قسم المعماري، و إعداد تقرير تصميم مبدئي للمشروع Basics of Design Report. وفى نهاية هذا الفصل نموذج كامل لـ Conceptual Design الخاص بإحدى المدن الجديدة.

وتمثل هذه المرحلة نسبة 30% من أعمال التصميم، حيث يقوم الاستشاري بالبدء في إعداد الحسابات الخاصة بالإضاءة و البدء في إعداد الرسومات الخاصة بمسارات الكابلات دون حسابات، و كذلك أعمال القوى (برايز و خلافه) بالتنسيق مع قسم التصميم الداخلي، و لكن لا تشهد هذه المرحلة أي تنسيق مع باقي أقسام الإلكتروميكانيك Electro Mechanical إلا فيما يؤثر على الأعمال الإنشائية و المعمارية و رسومات الإنارة بدون Wiring.

- **مرحلة التصميم التفصيلي Detailed Design**

هذه المرحلة يتم فيها إنهاء جميع الحسابات و إعداد الرسومات بشكل كامل.

- **مرحلة إنهاء التصميم Tender Design**

خلال هذه المرحلة يتم الأخذ في الاعتبار أي تعليقات أو متطلبات خاصة بالتصميمات، وأي تعارضات مع الأقسام الأخرى، ويتم فيها إعداد جداول حصر الكميات بشكل نهائي، وكتابة المواصفات النهائية للمشروع.

جدير بالذكر أن الشكل السابق شرحه لمراحل خطوات التصميم هو الشكل التقليدي داخل المكاتب الاستشارية و لكن نتيجة ظهور ما يعرف باسم مشاريع Fast Track فتم تعديل هذه المراحل إلى مرحلتين و هما مرحلة التصميم المبدئي Conceptual Design، ومرحلة التصميم للإنشاء Issued for Construction.

3- **مرحلة طرح المشروع للتنفيذ Bidding:** وهنا يعود الطرفان : المالك والاستشاري مرة أخرى ليقررا بناء على العروض المالية والفنية من سينفذ المشروع.

4- **مرحلة الإنشاء Construction:** وهنا يبدأ ظهور الطرف الثالث وهو المقاول الذى سيقدم الرسومات التنفيذية للاستشاري للاعتماد قبل التنفيذ، ويقدم أيضا مواصفات تفصيلية للمواد التي سيستخدمها للاعتماد قبل الشراء. ويظهر أيضا في هذه المرحلة دور المشرف على التنفيذ.

ثم المراحل الثلاثة التالية تتم بعد الانتهاء التام من التنفيذ، والشركة المنفذة (المقاول) هو العنصر الأساسي في هذه المراحل بالاشتراك مع الاستشاري الذى يراقب هذه المراحل.

5- **مرحلة الاختبار**

6- **مرحلة التشغيل**

7- **مرحلة الصيانة.**

2-1 التنسيق بين التخصصات المختلفة

يعتبر التنسيق بين مهندس الكهرباء المشرف على التنفيذ وبين التخصصات الهندسية الأخرى من الأدوار الهامة التي يجب أن تراعى فى أى مشروع.

1-2-1 التنسيق مع المعماري

يجب على مهندس تنفيذ الأعمال الكهربية أن يقوم بالتنسيق مع المهندس المعماري من أجل تحديد المساحات أو الأماكن اللازمة لوضع المعدات الكهربية بالمبنى. ورغم أن المعدات الكهربية عموما لا تشغل حيزا كبيرا مقارنة بالمعدات الميكانيكية إلا أنها تحتاج على الأقل فى المباني الكبيرة إلى تحديد أماكن بعض عناصر هامة، منها:

1. حجرة المحولات : فإذا كان حمل المبنى يتجاوز حمله 500kVA (قد يتغير هذا الرقم من دولة لأخرى) فهناك إلزام من وزارة الكهرباء للمالك بتوفير حجرة خاصة يوضع بها المحول الرئيسي للمبنى والذى سيرتبط بالشبكة العمومية للمدينة، ويجب أن يكون الدخول والخروج من هذه الحجرة ميسرا لرجال وزارة الكهرباء من خلال باب خارجي للمبنى وليس من باب داخلي. ويجب أن يكون ارتفاع حجرة المحولات الجافة dry transformers لا يقل عن نصف متر فوق أعلى نقطة فى المحول كحد أدنى، كما يجب إضافة ممر عرضه 75 سم على الأقل من جميع الجوانب. وتزود حجرة المحولات الجافة بفتحتين للتهوية إحداهما سفلية والأخرى علوية فى حائطين متقابلين. وإذا كان المحول من النوع الزيتي Oil Transformer فيجب إضافة حفرة تجميع للزيت أسفل المحول بعمق لا يقل عن 60 سم، ويركب المحول على قاعدة خرسانية أو قضبان فولاذية مرفوعة عن الأرض. (راجع مواصفات مؤسسة الكهرباء فى بلدك قبل تطبيق هذه الأرقام).
2. حجرة مولدات الديزل Diesel Generators : وتتوقف مساحتها على حجم أحمال الطوارئ Emergency Loads بالمبنى، مع ملاحظة أنه تصدر عن هذه المولدات أصوات عالية عند التشغيل، فيجب مراعاة ذلك عند اختيار مكانها، وأحيانا يطلب المالك أن تكون جدرانها عازلة للصوت. وتتميز حجرة المولد بارتفاع سقفها فى حدود تتراوح بين 3 و 5 متر حسب حجم المولد، حيث نحتاج أحيانا لتركيب ونش Winch لتركيب المولد أو لنقله للصيانة. مع الأخذ فى الاعتبار أنه يجب الرجوع لكتالوج الشركة المصنعة لمعرفة الأبعاد المناسبة لحجرة المولد.
3. حجرة اللوحات العمومية : وتحتوى على اللوحات الرئيسية لشبكة التوزيع الخاصة بالمبنى. وبالطبع ستتوقف مساحة كل حجرة من هذه الحجرات الثلاثة على حجم الأحمال الكهربية بالمبنى.

4. مستلزمات الأمن والسلامة، وذلك حسب ارتفاع المبنى ونوعية الإشغال، وقد تتضمن ضرورة وجود مضخة للحريق Fire Pump، ومولد ديزل منفصل أيضا.

5. ويجب أيضا التنسيق مع المهندس المعماري لتحديد أماكن اللوحات الفرعية والتي لا يصلح مثلا تعليقها فى الطرقات حتى لا تصبح فى مجال العبث بل يجب تهيئة مكان مناسب لها يكون فى وسطا بين الأحمال قدر المستطاع لتقليل مسافات تمديد الكابلات، فيمكن مثلا أن يقوم المعماري بعمل فراغات صغيرة لها في الطرقات، وهذا كله بالتنسيق مع المعماري.

6. من الأماكن المطلوب أيضا تحديدها حجرة معدات التيار الخفيف Light Current، وهذه أصبحت متطلب فى جميع المباني الحديثة، وقد تكون حجرة واحدة أو أكثر حسب حجم الأعمال التى تنفذ فى مجال التيار الخفيف. راجع كتابي الخامس " المرجع فى أعمال التيار الخفيف".

ونشير هنا إلى مشاكل عديدة تنجم عن إهمال مهندس الكهرباء فى تحديد هذه الأماكن بوضوح، فقد يظن مهندس الكهرباء أن المهندس المعماري لابد أنه سيأخذ ذلك فى اعتباره. وقد يراعى المعماري بالفعل هذه الأشياء لكنه قد لا يقدرها بالصورة الصحيحة، فمثلا قد يترك حجرة صغيرة فى مكان يصعب الوصول إليه للمهمات الكهربية كلها (اللوحات والمولدات والمحولات، إلخ)، وربما يخصص مساحة كبيرة لكنها لا تتفق مع متطلبات شركة الكهرباء التى تشترط مثلا فى غرفة المحولات أن تكون ذات مساحة محددة وأن تكون هناك فراغات محددة الأبعاد حول المحول بعد وضعه بالغرفة، إضافة إلى شرط هام وهو سهولة الوصول إلى الغرفة فى أى وقت دون معوقات. ومن هنا تظهر المشاكل حين يعترض مهندس الكهرباء التابع للحى على هذه المساحة ويرفض التوقيع على لوحات المبنى.

ومن المهم كذلك للمصمم أن يحدد بالتنسيق مع المهندس المعماري أماكن لوحات التوزيع ليتحدد بناء عليه مسار الخطوط الرئيسية والفرعية للدوائر الكهربية فى المبنى. وهل هى خارجية فوق حوامل للكابلات Cable Trays مثلا، أم مدفونة بالحائط، أم تحت الأرض. ويمكن للمهندس المعماري أن يتدخل لتغير مسار بعض هذه الكابلات إذا كانت ستؤثر على الوظيفة المعمارية للمبنى وتشوه صورته، وفى هذه الحالة يكون مهندس الكهرباء ملزما بإيجاد البديل.

وليس ببعيد أنه يحتاج أيضـا للتنسـيق مع مهندس الديكور حتى لا يضـطر لإعادة تنفيذ بعض الأعمال الكهربية (مثل أماكن البرايز واللمبات) التى قد تتعارض مع طريقة توزيع الأثاث فى الفيلات أو توزيع المكاتب فى المباني الإدارية الهامة.

1-2-2 التنسيق مع مهندس الميكانيكا

أكثر تعامل مهندسـي الكهرباء في المشـروعات يكون مع تخصـصـين من تخصـصـات الميكانيكا، وهما : مهندس الـتكييف وهو أحد أعضاء قسم الـ Heat Ventilation and Air Condition, HVAC، ومهندس الصـرف ومكافحة الحريق. وتنسيق مهندس الكهرباء مع مهندس الميكانيكا ضـروري جدا لاسيما فى مرحلة التنفيذ حتى لا تتعارض أماكن المعدات الكهربية مع الميكانيكية، ومن أشهر نقاط التعارض مثلا تداخل الـ Cable Tray مع الـ Ducts الخاصة بالتكييف، وكذلك تعارض أماكن اللمبات مع مخارج إطفاء الحريق (Sprinklers) ، وكذلك تتعارض فتحات التكييف مع كشافات الإنارة الكبيرة إلخ.

وكثيرا ما رأينا العديد من المشـاكل من قبيل وضـع مخرج إطفاء حريق (Sprinkler) مباشـرة فوق كشـاف فلورسنتFluorescent متدلى من السقف، مما يعوق عملية توزيع المياه عند إطفاء الحريق، وبالطبع فقد حدث هذا بسبب سوء التنسيق بين مهندس الميكانيكا ومهندس الكهرباء.

وربما فى بعض الأحيان تبدأ الأعمال الميكانيكية قبل الكهربية فنشاهد مثلا الـ Ducts الخاصة بالتكييف وقد سدت كل الفراغ المتاح فى الممرات قبل أن يتمكن مقاول الكهرباء من تمديد مواسير الكهرباء الخاصـة به، مما يترتب عليه فك أعمال التكييف، وإعادتها مرة أخرى بعد تمديد مواسـير الكهرباء، إلى غير ذلك من المشاكل الناجمة من عدم التنسيق بين التخصصات المختلفة.

يراعى فى التنسـيق أن الأولوية تكون لمهندس الكهرباء فى توزيع الإضـاءة أولا، ثم مهندس التكييف، ثم مهندس مكافحة الحريق، وأخيرا مهندس التيار الخفيف.

1-2-3 التنسيق مع مهندس الإنشاءات

ويحتاج مهندس الكهرباء (لاسيما المصمم) للتنسيق مع مهندس الإنشـاءات المدنية فى حدود ضـيقة، على سـبيل المثال لا بد لمهندس الكهرباء أن يحدد بدقة أماكن المعدات الكهربية ذات الأوزان الثقيلة التى سـيتم وضـعها فى أدوار عليا، حتى يمكن لمهندس الإنشـاءات أن يأخذها فى اعتباره عند تصـميم سـمك البلاطة

الخرسـانية للأسـقف الحاملة لهذه المعدات. وحتى المعدات التى توضـع فى الدور الأرضـي فإنها قد تحتاج لمواصــفات خاصــة لأرضــيتها، على ســبيل المثال أرضــية غرفة المحولات الكبيرة والتي تحتاج لكمرات خرسانية متناسبة مع أبعاد المحول، وهو ما يؤكد على ضرورة التنسيق مع المهندس المدني بالمشروع.

ونشـير أيضـا لنقطة هامة، وهى أنه فى حالة الأبراج العالية (100 دور مثلا) ففي بعض الأحيان توضـع محطة لمحولات التوزيع Distribution Transformers قريبة من منتصف المبنى لتغذية النصف العلوى من المبنى، وأحيانا فى الأبراج العالية توضـــع محولات التوزيع فى الدور الأخير لتركز أحمال التكييف فى هذا الدور، وفى هذه الحالة على مهندس الإنشـاءات أن يراعى أن بلاطة الخرسـانة فى هذا الدور سـتكون غير عادية لأنها تحمل حملا زائدا هو وزن محولات التوزيع.

ومن المعلومات التي يحتاجها أيضا مهندس الإنشاءات من مهندس الكهرباء مسارات الـــــــ trenches الخاصة بالمولد داخل الـــــــ Substation الخاصة بالمشروع، على سبيل المثال مسارات كابلات الجهد المتوسـط. وكذلك سـيحتاج الإنشـائي لمواصـفات مولد الديزل Data sheet ليقوم بأخذ الـــ trenches الخاصــة بمواسـير الوقود في الاعتبار. لاحظ أن عدم معرفة الإنشـائي بهذه المعلومات سـيترتب عليه ربما تكسير في الكمرات الخرسانية بعد ذلك للسماح بدخول هذه المواسير والكابلات إلى غرفة المولد.

يراعى التنسيق مع مهندس الإنشائي لتحديد مسارات دخول الكابلات المغذية للمبنى، خصوصا فى المباني التى تغذى من محولات بجانب المبنى outdoor substation، لأنه فى هذه الحالة قد يلزم التحكم فى منسوب الأساسات الخرسانية أو عمل هبوط فى الخرسانة Depressed slab لعدم تعارضها مع دخول الكابلات.

كما سـتحتاج لتنسيق وضـع أماكن خزانات المياه الخاصــة بالشـرب أو الخاصــة بالحريق وحجم الطلمبات الخاصة بها، كما سيتضح تفصيلا فى الفصل الثالث.

1-3 المتطلبات العامة للتصميمات الكهربية

و المقصود بالمتطلبات العامة للتصميمات الكهربية هى مجموعة المعلومات الخاصة بالمبنى المراد تصميم شـــبكة كهربية له، والتي يحتاجها مهندس الكهرباء قبل بدء العمل من أجل الوصـــول لتصـــميم ذو كفاءة عالية. وهذه المتطلبات تنقسم إلى ثلاثة أنواع:

1. إما معلومات مطلوبة لقسم الكهرباء (خاصة من قسمي عمارة وميكانيكا).
2. وإما معلومات مطلوبة من قسم الكهرباء لهذه الأقسام وغيرها، وخاصة قسم الإنشاءات.
3. أو معلومات فنية كهربية بحتة وعليهم أن يحسموها بأنفسهم دون الرجوع لأحد.

1-3-1 المتطلبات المعمارية

أ. طبيعة المبنى

أولى المعلومات الأولية المهمة التى يحتاجها المصمم هى طبيعة استخدام المبنى، حيث أن شبكة التوزيع الكهربية تختلف من مبنى لآخر، فالشبكة الكهربية لمدرسة تختلف عن الشبكة الكهربية فى مجمع تجارى أو مســتشــفى أو ســكن خاص أو مصــنع وهكذا. ولذلك يحتاج مصــمم الشــبكة الكهربية إلى كم من المعلومات المرتبطة بطبيعة المبنى من أهمها:

1. معلومات تفصيلية عن طبيعة استخدام كل مساحة من مساحات المبنى.
2. أماكن المعدات التى ستستخدم بالمبنى، حيث يحتاج المصمم الكهربي إلى التنسيق مع المهندس المعماري (وأحيانا مع مهندس الميكانيكا أيضـــا) من أجل تحديد أماكن هذه المعدات لأن ذلك سيؤثر على اختيارات مهندس الكهرباء.
3. من المهم أيضـا تحديد طبيعة بيئة المبنى Building Environment، و هل المبنى مكيف أم لا و هل توجد تدفئة في الشتاء أم لا.

4. طبيعة التشــطيب Finishing، و هل هو مبنى فاخر أم متوســط مثلا، حيث ســيؤثر هذا الخيار على العديد من اختيارات المصمم الكهربي.

5. تحديد شدة الإضاءة في كل مساحة، وعدد نقاط الإنارة، و المخارج العامة الخ.

6. تحديد التوقعات المستقبلية لأي توسعات بالمبنى سواء من ناحية المباني أو المعدات، حيث يساعد كل ذلك فى تحديد الأحمال. و يمكن القول بأن المهندس الكهربي هو أكثر المهندســـين احتياجا للمعلومات الخاصــة بالتوســعات المســتقبلية خاصــة إذا أخذنا في الاعتبار أن عمر أي مبنى قد يصــل إلى 100 ســنة بينما الأعمال الكهربية تتجدد بالمبنى ربما كل 20 : 30 ســنة. و بصــفة عامة فالمصمم يضع في اعتباره نسبة توسعات لا تقل عن 25%. بمعنى آخر فان التحديد الدقيق لطبيعة استخدام المبنى سيؤثر على كافة أعمال التصميمات الكهربية.

وكما تلاحظ فمعظم هذه المعلومات السابقة هي معلومات تبادلية أي يحتاجها كل طرف من الآخر (المعماري والكهربي) وتؤثر في عمل كل منهما.

ب. المخططات المعمارية

ويحتاج المصــمم بعد ذلك إلى الحصــول على المخططات المعمارية للمبنى المراد تصــميم شــبكة كهربية له، فمن خلال هذه المخططات تتوفر الكثير من المعلومات من أجل تحديد هيكلية الشبكة الكهربية، فمن خلال هذه المخططات المعمارية يمكن تحديد مسار **الكابلات** وأماكن المعدات الكهربية المختلفة، و تحديد أماكن لوحات التوزيع الرئيسية والفرعية فى المبنى إلخ.

و غالبا يحتاج المصمم إلى مجموعة كاملة من لوحات المساقط الأفقية (الـ Plans) ، والمساقط الجانبية (Side Views) ، والواجهات (Elevations) الخاصة بالمبنى، والقطاعات (Sections) بالإضافة إلى لوحات الأسقف (Ceiling plans) التى تستخدم فى تصميم الإضاءة. و إن كانت لوحات المساقط الأفقية هي أكثر اللوحات استخداما بالنسبة لمهندس الكهرباء، لكنه في الواقع سيحتاج إلى الأنواع الأخرى من اللوحات لا سيما في أعمال إنارة الواجهات، و تصميم المصاعد كما سيحتاجها المقاول لعمل المخططات التنفيذية (Shop Drawings).

1-3-2 المتطلبات الميكانيكية

1- تحديد الأحمال الميكانيكية

الأجهزة الميكانيكية هى الأجهزة التى تتضمن محركات مثل المصاعد والسلالم المتحركة Escalators والمضخات المائية Water Pump فى المبنى ومضخات مكافحة الحريق Fire Pump وغيرها من الأجهزة الخاصة. على سبيل المثال، يحتاج مهندس الصحي من مهندس الكهرباء أن يعرف معدل استهلاك الوقود للمولد، وذلك ليمكنه من تصميم الخزان اليومي والخزان الشهري لوقود المولد.

وما ينطبق على الأجهزة الكهربية ينطبق على الميكانيكية، فالمصمم بحاجة إلى معلومات تفصيلية عن هذه الأجهزة حتى يمكنه تصميم الشبكة المناسبة لتغذية هذه الأحمال.

2- تحديد أحمال التبريد والتهوية

يحتاج المصـــــمم إلى معلومات تفصـــيلية ودقيقة عن أماكن تركيب أجهزة التدفئة والتهويـة و التبريد Heating –Ventilation and Air Condition (HVAC) حتى يوفر نقـاط التغـذيـة فى المكـان المناسـب لها، كما يحتاج المصـمم لتحديد أحمالها الكهربية ليتمكن من تصـميم الدوائر المناسـبة لها، و تحديد الحمل الكلي للمبنى لاسيما أن هذه الأحمال بالذات تعتبر الأعلى ضمن كافة أنواع الأحمال.

وكل ما سـبق هي معلومات يحتاجها مهندس الكهرباء من مهندس الميكانيكا، لكن هناك أيضـا معلومات يحتاجها مهندس الميكانيكا (خاصة مهندس الـ Ventilation) فهو مسئول عن تصميم تهوية غرفـــــــــة المولد ويحتاج لمعرفة حجـــــــــمه وحجم العـــوادم الخـــــــــارجة منه لتحديد In-take /Out-take air.

1-3-3 المتطلبات الكهربية

A- الأحمال الكهربية

من المتطلبات اللازمة أيضــا لعمل مخططات تصــميمية كهربية معرفة الأحمال الكهربية المســتخدمة فى المبنى، مثل أحمال الإنارة، والمخارج العامة ونوعية الأجهزة التى تتصـــل بها، وكذلك المعدات الخاصـــة بالمطابخ أو الأجهزة الكهربية فى العيادات الطبية أو المعدات فى ورشـــة صـــناعية وغيرها كما ســبق أن ذكرنا.

B – الأنظمة المساعدة

هناك بعض الأنظمة يشـترك فى القيام بتنفيذها وبتصـميماتها مهندس الكهرباء مع مهندسـين آخرين مثل أنظمة الإنذار والإطفاء، ونظم الاسـتدعاء الآلى Intercom، والتلفونات والإريال المركزي Central Satellite، وشـبكة الأنترنت Data System، وسـاعات الحائط وغيرها. وهذه المنظومات وإن كانت لا تؤثر كثيرا على الحمل الكهربى الكلى للمبنى (باستثناء منظومة الإطفاء التى قد تحتاج لمضخة حريق لها قدرة كهربية عالية) إلا أنه من المهم أن يأخذها مهندس الكهرباء فى اعتباره عند تصـميم اللوحات الكهربية خاصـة ومع التوسـع فى اسـتخدام هذه المنظومات أصـبح حمل التيار الخفيف لا يمكن إهماله. والمهندس المعماري – بحكم أنه المنسـق بين كافة التخصـصـات العاملة بالمبنى – هو الأقدر على إعطاء مهندس الكهرباء ما يحتاجه من معلومات بشأن هذه الأنظمة، وبالطبع سيرجع مهندس الكهرباء إلى مصـممي هذه الأنظمة أيضا، وذلك إن لم يكن بالفعل سيشارك فى التصميم بنفسه.

C – تحديد نظام التغذية الرئيسية فى المبنى.

تعتبر معرفة موقع نقطة التغذية الرئيسـية فى المبنى هى المدخل لتحديد مسـار الكابل الرئيسـي، وتحديد مسـار خطوط التغذية الرئيسـية فى المبنى. وباختصـار فإن تحديد هذا الموقع يسـاعد على تحديد الخطوط العريضة للمخطط الكهربى.

ونظام التغذية قد يكون Single –Phase كما فى المباني الصـغيرة (غالبا فى المباني الأقل من 12 kW كما فى المواصـفات الكويتية مثلا)، أو يكون Three–Phase فى المباني ذات الأحمال الأكبر من ذلك. وفى بعض البلاد مثل مصر لا يوضع اشتراطات معينة سوى فرق التكلفة.

وإذا كان المبنى كبيراً كمصـنع أو مسـتشـفى أو مدرسـة أو مجمع تجارى فتكون نقطة التغذية هى المحول الكهربي الخاص بالمبنى وهذا المحول يكون فى الغالب مربوطا بالشبكة الحلقية Ring System الخاصـة بالمدينة. وقد يحتاج المبنى إذا كان هاما إلى نقطتين للتغذية Two in–takes مربوطتين بالشبكة العامة.

أما المنشـآت ذات الأحمال الكبيرة جدا (المصـانع الكبيرة مثلا) فتكون التغذية غير مرتبطة بشـبكة المدينة (Ring System) بل ترتبط مباشرة بشبكة الـــ 66/11 kV، أو شبكة 132/11 kV المغذية للمدينة كما سيتضح تفصيلا عند دراسة نظم التغذية فى الفصل الخامس.

D – تحديد المتطلبات الفنية التفصيلية.

1- نوع لمبات الإنارة

من المعلوم أن أنواع لمبات الإنارة كثيرة حتى تتناسب مع نوع استخدام الغرف وأذواق الناس، فلمبات المنازل تختلف عن الكشافات المستخدمة في الورش الصناعية وهكذا، ولذلك فلابد من تحديد نوع اللمبات بالتنسيق مع المهندس المعماري ومهندس الديكور الداخلي. و ذلك حسب مستوى التشطيب المراد (فاخر، متوسط، إلخ) .

2- شدة الإضاءة.

ومن خلال تحديد نوع اللمبات وطبيعة استخدام الغرف والمساحات فى المبنى، يمكن تحديد شدة الإضاءة، وعليه يمكن تحديد عدد اللمبات المطلوبة وطريقة توزيعها فى الغرفة، كما سيتضح بعد ذلك فى موضوع حسابات الإضاءة فى الفصل السابع.

3- تحديد أماكن ونوعية المخارج العامة

في العادة تكون البرايز (Sockets) (وتسمى أيضا المخارج العامة) بقدرة 13 أمبير، وبعضها 15 أمبير، أو 20 أمبير، ولكن بعض الأجهزة قد تتطلب برايز بقدرة 40 أمبير، أو 30 أمبير مثل المطابخ الكهربية و في هذه الحالة سيوضع Double Pole Switch، DP SW فى المكان المطلوب، كما أن بعض الأجهزة تتطلب تغذية (Three Phase) مثل بعض الأفران وغيرها، ولذلك يحتاج المصمم أن يعرف نوع الأجهزة المستخدمة فى كل مكان ليحدد أماكن ونوعية الـ Sockets المناسبة. وبالطبع فإن المصمم يحتاج إلى تحديد الأحمال الكهربية لهذه الأجهزة الخاصة ليمكنه تقدير الحمل الكلى للمشروع.

4-1 خطوات التصميم لمشروع كهربي

قبل البدء فى أى مشروع لابد من أن تكون ملما ودارسا بعمق للمواصفات الكهربية والكود المتبع فى بلدك.

1-4-1 تحديد مواصفات الأعمال الكهربية

وكثيرا ما يتكلم المختصون فى التصميمات الكهربية عن "**الكود المستخدم**"، فما المقصود بالـ "الكود" ؟.

بداية، هناك فرق بين كلمة "مواصـــــفات" Specification، وكلمة "كود" Code، وإن كان الشـــــائع هو استخدام كل واحدة منها مكان الأخرى، وهذا غير دقيق، فعلى سبيل المثال فإن طريقة تركيب المحول مثلا يحددها **<u>الكود</u>**، لكن مواصفات المحول الفنية تجدها فى **<u>المواصفات وليس فى الكود</u>**.

وفى جميع الخطوات الســابقة يفترض أنها تمت بناء على مواصـفات قياســية محددة، ولها مرجعية تنفيذية طبقا لـ "**<u>الكود</u>**" المتبع فى الدولة. و تفاصيل هذا الكود تتحدد بواسطة الهيئات الحكومية في الدولة، وبالطبع يمكن أن تستخدم أى كود عالمي مثل NEC (National Electric Code) ، أو (British Standards) BS شريطة ألا تتعارض مع الكود القياسي بالبلد.

وفى بعض التخصـصــات مثل الإنشــاءات المدنية يكون الكود المســتخدم متغير ومتجدد أيضــا، فمعاملات الأمان Safety Factors فى حســابات الخرســانة المســلحة كثيرة (من تأثير الرياح والتربة والزلازل إلخ)، وكثير منها يعتمد على معاملات لها قيم تقديرية، وهى تتغير حسب التقدم في الدراسات فى هذه المجالات، ومن ثم تختلف مثلا كمية الحديد المستعمل فى الخرسانة من كود لآخر، وربما من فترة زمنية لأخرى.

أما فى التصـــــميمات الكهربية فالتغير ليس كبيرا، لأنه لا توجد مجاهيل Unknowns غير متوقعة فى التصـــــميمات الكهربية اللهم إلا نســـبة التوقعات المســـتقبلية، ومن ثم فالاختلاف من كود لآخر محدود. ويتوقف حجم التغيرات فى الغالب بناء على المســـتوى الحضـــــاري للمكان (دولة متقدمة أم نامية)، وعلى درجات الحرارة كعنصر مؤثر فى تقدير بعض معدلات الأمان.

1-4-2 الخطوات الرئيسية فى المشروع

يمكن تلخيص الخطوات الرئيسية والأساسية للقيام بالأعمال الكهربية فيما يلى:

1- تحديد المتطلبات العامة للتصميمات الكهربية كما تم شرحه فى الجزء السابق من هذا الفصل.

2- تقدير الأحمال الكهربيةLoad Estimation بصورة مبدئية بناء على حسابات المساحات (وتشمل تقدير أحمال الإنارة، البرايز، التكييف، الصحى إلخ). وتشمل هذه المرحلة أيضا حساب الحمل الكلى التقريبي باستخدام عوامل الطلب Demand Factors وعوامل التبــــــاين Diversity Factors. وعموما فهذه الخطوة مهمة خاصــة لبدء إجراءات التعاقد والحصــول على تراخيص البناء من الهيئات المعنية حيث تبدأ هذه الإجراءات فى الغالب قبل الانتهاء من التصـــــميمات النهائية. لاحظ أننا لو

انتظرنا حتى تكتمل كافة المعلومات التفصيلية الخاصة بكافة عناصر المشروع (المتطلبات المعمارية والميكانيكية والإنشائية وغيرها) فإن ذلك سيكلفنا تأخيرا كبيرا، فالمعماري مثلا لن يتمكن من تحديد المساحات المطلوبة للأعمال الكهربية وأماكنها ومساراتها، كما سيتأخر مهندس الإنشاءات الذى يحتاج لمعرفة أماكن المعدات الثقيلة المتعلقة بالكهرباء، وهكذا كافة التخصصات الأخرى، ومن هنا لزم أن نكون قادرين على عمل تقدير مبدئي للأحمال إلى أن يتم مراجعة هذا التقدير خلال مراحل المشروع المختلفة (تفاصيل ذلك تجدونه فى الفصل الثالث من هذا الكتاب).

3- تصميم أعمال الإضاءة (كما فى الفصل السابع من هذا الكتاب)، ووضع رموز وحدات الإضاءة (اللمبات والمفاتيح) على الرسم، وتحديد أماكن المخارج العامة (البرايز)، ووضع رموزها فى أماكنها على الرسم.

4- تصميم الأعمال الكهربية لأحمال القوى مثل التكييف والمصاعد، مضخات المياه ،....إلخ)، مع وضع رموز مناسبة لأماكن كافة مخارج القوى الكهربية اللازمة لهذه الأعمال، وهذا كله بالطبع يتم بالتنسيق مع المهندسين المختصين فى هذه التخصصات. لاحظ أن الرموز المستخدمة يجب أن تكون رموزا قياسية (مثل الرموز الأمريكية أو الرموز الإنجليزية) ، وفى كل الأحوال سواء استخدمت رموزا قياسية أو استخدمت بعض الرموز الغير قياسية فيجب أن توضح كافة الرموز داخل جداول توضيحية باللوحات Legend and abbreviations.

5- البدء فى حسابات الدوائر الفرعية Branch Circuits، وتصميم دوائرها، وهذه الدوائر الفرعية هى الدوائر الكهربية التى تنتهى بأحمال (لمبات، مخارج عامة، مخارج قوى، الخ)، وتفاصيل ذلك تجدونه فى الفصل الرابع من هذا الكتاب.

6- تصنيف الأحمال طبقا لطبيعتها (إنارة، قوى، هامة، حرجة، طوارئ، إلخ).

7- تجميع الدوائر الفرعية فى لوحات توزيع فرعية Panel Boards طبقا لطبيعة الحمل وتصنيفه الذى تم فى الخطوة السابقة، بحيث يتم مثلا تجميع دوائر الإنارة مثلا بأنواعها المختلفة فى لوحات فرعية منفصلة مع تصميم جداول حسابات لهذه اللوحات يأخذ فيها في الاعتبار قواعد التصميم الأساسية (على سبيل المثال توازن الأحمال باللوحات).

8- تصميم دوائر المغذيات العمومية (وهى الدوائر الكهربية التى تنتهى بلوحة توزيع وليس بحمل محدد) حيث تتم تغذية اللوحات الفرعية من لوحات أخرى عمومية Distribution Boards، ويتم فى هذه المرحلة تحديد أماكن اللوحات الفرعية والعمومية بدقة. إلى أن نصـــل إلى تصـــميم لوحة التوزيع الرئيسية (MDB Main Distribution Board)

9- تصميم المغذيات ومفاتيح الوقاية (Feeders & CB (Circuit Breakers للوحات العمومية طبقا لقواعد التصميم المتفق عليها وعمل جداول اللوحات العمومية.

10- عمل مراجعات التصميم الضرورية (Short Circuit Study، Voltage Drop، etc.) كما فى الفصل الرابع من الكتاب، و الخطوات الخمسة من السابعة إلى الحادية عشرة مذكورة بالتفاصيل فى الفصل الخامس من هذا الكتاب).

11- اعتماد نظام تغذية للوحات الكهربية بالمشـروع Distribution System طبقا لطبيعة وأهمية المبنى من خلال الإجابة على عدد من الأسئلة المهمة على سبيل المثال : هل يتم التغذية من مصدر واحد أم مصدرين؟، ما حجم مولد الطوارئ إن وجد ؟ وكيف سيتم توصيله؟، وهكذا. مع رســـم Single Line Diagram مبدئي للشبكة. كما يتم تصميم منظومة الأرضي الخاصة بالمشروع، وقد خصص الفصل السادس لتفاصيل تصميم نظام الأرضي.

12- بالتوازي وبالتنسيق مع ما سبق يتم تصميم دوائر تغذية الأنظمة المســـاعدة الـــ Auxiliary Systems، وهى أنظمة عديدة مثل Fire alarm، Fire Fighting، Earthing، Telephone، Antenna، Data Networks، etc) .

13- كتابة كراســة الشروط والمواصفــــــات و عمل جداول الكميـــــــات. مع العلم بأن جداول الكميات Bill of Quantities, BOQ تكون في الغالب مقسمة إلى مجموعات مثل : جداول حصر الكابلات – جداول حصر اللوحات DBs، والتي قد تتضمن حصر الـــ CBs المستخدمة و عدد الدوائر التي يتم التحكم فيها من خلال هذه اللوحة أو تلك و الأحمال المغذاة من اللوحة. و هناك أيضا جداول حصر أعمال الجهد المتوسط، و جداول حصر المعدات مثل عناصر الإنارة (اللمبات، و مفاتيـــــح on /offإلخ) . وهناك أيضا جداول خاصة بالأحمال مثل المكيفات، و المحركات، وهذه بالطبع ليس الغرض منها وضـــع أســعار فى هذه الجداول وإنما ليرجع إليها مهندس الكهرباء

حين الحاجة. و أخيرا جداول الأنظمة المساعدة (التليفون – الداتا – الصوتيات – أنظمة التلفزيون – الخ) و يتم فيها حصر الأعمال الخاصة بكل عنصر من هذه العناصر والتى فى الغالب تكون بنظام المقطوعية.

و في كافة الجداول السابقة تكون وحدة القياس هي العدد أو الطول، و في بعض الحالات تكون وحدة القياس للأعمال هي الـــ Lump sum أو المقطوعية، و تعني أن المورد عليه أن يورد النظام المناسب بكافة مشتملاته، ومن ثم لن تجد تفاصيل لهذه المعدات في جداول الحصر كما في جداول الحصر الأخرى.

وعموما، فكافة الخطوات السابقة تفترض حتما أن يكون المهندس قد صار فى الأساس ملما بسمات وخصائص ومواصفات العناصر والمعدات الكهربية التى تستخدم فى كافة هذه الخطوات مثل الكابلات والقواطع CBs ولوحات التوزيع DBs وغيرها، وهو ما سيتم شرحه بالتفصيل فى الفصل الثاني من هذا الكتاب.

5-1 طرح المشروع للتنفيذ

فى البداية يقوم المالك بطرح العطاء Tender على المقاولين الراغبين فى تنفيذ هذا المشروع (من خلال إعلان بالصحف مثلاً). وبعده سيقوم عدد من المقاولين الراغبين فى المشاركة بشراء كراسة الشروط Terms and Conditions والمواصفات الخاصة بالمشروع لدراستها ووضع أسعار فى جداول الكميات BOQ الخاصة بالمشروع، ثم يتقدمون بعد ذلك إلى إدارة المشروع بمظروفين الأول فنى، والثاني مالي.

ويتم أولا فتح المظاريف الفنية من قبل إدارة المشروع لاستبعاد المقاولين الذين قدموا فى عطاءاتهم عروضا غير مطابقة للمواصفات الفنية، ثم يتم عمل جلسة خاصة علنية لفتح المظاريف المالية لكافة المقاولين الذين أجيزوا فنيا فى المرحلة السابقة، ليتم اختيار المقاول الذى قدم أقل سعر، ويسمى هذا الأسلوب بالـــ "**مناقصة**" Bidding.

وأصل هذا الاسم أنه فى المناقصات الحكومية إذا أرادت مثلا الحكومة أن تشترى شيئا فإنها تشتريه بناء على أقل سعر في الأسعار المعروضة، ولذا تسمى مناقصة، لكن هناك عملية عكسية تسمى **المزايدة**، وهى عكس المناقصة أى تريد الحكومة أن تبيع شيئا بأعلى سعر. وهناك عملية ثالثة تسمى **الممارسة**، ويتم فيها اختيار أقل سعر لكن عن طريق الفصال بين المتقدمين أو دعوة أهم العملاء من المقاولين والحصول بالفصال بينهم على أقل سعر دون مناقصات. وأخيرا، هناك عمليات **الأمر المباشر**، ويستخدم عند الحاجة لتنفيذ أعمال سريعة فى حدود مبالغ معينة يحددها قانون الشركة أو القواعد الحكومية.

ويراعى أن تتم المناقصات بأمانة وسرية حتى لا تتسرب معلومات عن عطاء شركة معينة إلى شركة أخرى. وأحيانا يتم نوع من التلاعب فى هذه المناقصات بين الشركات المشتركة فيتم الاتفاق مثلاً بينهم على أن يتقدم الجميع بأسعار عالية جداً عدا شركة واحدة لضمان أن المناقصة تكون من نصيبها على أن– ترد لهم الجميل – فى مناقصة أخرى وهكذا. وفى حالة استخدام هذا الأسلوب الغير أمين يجب على إدارة المشروع استبعاد هذه الشركات، وإعادة طرح هذه المناقصة مرة أخرى.

وبعد **ترسية** المناقصة على شركة معينة فإن من مسئولية المالك أن يسلم "**موقع العمل**" للشركة خاليا من أى معوقات لتبدأ بالتنفيذ. وعلى المقاول أن يقدم للمــــــــــالك **خطــــــــــــــاب ضمان** Letter of Guarantee بمبلغ معين (يسمى مبلغ التأمين) Insurance وغالباً يكون خطاب الضمان بقيمة حوالى 10– 20% من قيمة المشروع، و يتم حجز **مبلغ التأمين** هذا من حقوق المقاول فلا تسلم إليه إلا بعد انتهاء فترة الضمان المتفق عليها والتى تكون غالبا سنة كاملة. وخلال هذه السنة تكون مسؤولية المقاول إصلاح أى عطل دون مقابل، فإذا انتهت فترة الضمان فمن حق المقاول استلام مبلغ التأمين المحجوز لدى المالك. وهذا المبلغ الكبير المحتجز لدى المالك سيجعل المقاول حريصا على أن يتم العمل على أكمل وجه حتى لا يحدث أى أعطال تتسبب فى تأخير رد هذا المبلغ أو حدوث أى خصم منه.

وفى حالة المشروعات الكبيرة فغالبا يتفق المقاول الرئيسي مع عدد من الشركات الأصغر والمتخصصة فى أعمال محددة كنظم الإنذار أو الصحى أو الكهرباء وخلافه ويسمى هذه الشركات **بمقاولي الباطـــــــــن** Sub-Contractor.

أشير هنا أيضا إلى أنه وأثناء تنفيذ المشروع يقوم المقاول من فترة لأخرى، وكلما انتهى من جزء محدد من المشروع، بتقديم ما يسمى "**مستخلصات**"، حيث يدون فيها حجم الأعمال التى أنجزها حتى تاريخه، و يمكن

بعد استلام مهندس الموقع لهذه الأعمال منه أن يصرف له القيمة المالية لهذه المستخلصات حتى يساعد المقاول فى استكمال عمله.

1-5-1 ما هى المستخلصات؟

في بداية أي مشروع يتم صرف دفعة مقدمة للمقاول يصرفها له المالك بعد التعاقد مباشرةً، و تكون قيمة تلك الدفعة محددة بالعقد (غالباً 10% من إجمالي قيمة العقد)، و الضامن في هذا الأمر أن المقاول يسلم للمالك في المقابل خطاب ضمان بنكي بنفس قيمة الدفعة المقدمة ليضمن للمالك حسن النية، و يستطيع المالك "تسييل" خطاب الضمان – أي صرفه من البنك – في أي وقت إذا استشعر عدم جدية المقاول في تنفيذ المشروع، وبالتالي فالمالك لم يخسر شيء بتقديم هذه الدفعة المقدمة قبل تنفيذ أي عمل.

بعد ذلك يتم صرف دفعات (متغيرة) للمقاول من قبل المالك نظير الأعمال التي تم تنفيذها بالفعل و تم تسليمها بالمشروع، و تحدد قيمة تلك الدفعات من خلال عمل مستخلصات دورية يقدمها المقاول للاستشاري للمراجعة و الاعتماد و توجيه المالك بالصرف و يطلق عليها مستخلصات جارية.

المستخلصات هي جداول يذكر فيها البنود التي تم تنفيذها ووحدة قياسها وكميتها ونسبة الصرف. وينبغي أن تكون الأعمال المذكورة بالمستخلص الجاري قد تم تسليمها بالفعل لاستشاري المشروع. و المستخلصات وثيقة حسابات تراكمية، بمعنى أنه في كل مستخلص يتم ذكر ما تم ذكره في المستخلصات السابقة له في الخانة المخصصة للكميات السابقة، أما الأعمال المستجدة فيتم ذكرها في الخانة المخصصة للكميات الحالية، أي أن كل مستخلص هو يعبر عن الأعمال التي تمت بالفعل منذ بداية المشروع و حتى تاريخ تقديم المستخلص و يكون إجمالي قيمة الأعمال بكل مستخلص هو عبارة عن إجمالي قيمة الأعمال التي تم تنفيذها بالمشروع منذ بدايته، و لكن يتم خصم المبالغ المالية التي تم صرفها سابقاً بمعرفة قسم الحسابات لمعرفة المبلغ المستحق للصرف.

1-5-2 إدراج التشوينات في المستخلصات

التشوينات هي المواد الخام Raw Materialالتي تكون مخزنة داخل الموقع تمهيداً لاستخدامها في أعمال الإنشاءات.. و منها ما تكون تكلفته كبيرة جداً مثل كابلات الكهرباء و خلافه، فمن الممكن أن تكون هناك مواد خام مشونة داخل الموقع تقدر تكلفتها بالملايين، لذلك فإنه في كثير من الأحيان يطلب المقاول دفعة مالية من المالك نظير وجود تلك التشوينات في الموقع لحين استخدامها و يتم إدراج تلك التشوينات في

المستخلصات بالكيفية المتفق عليها في التعاقد .غالباً يكون الاتفاق بين المالك و المقاول على أن يتم احتساب نسبة صرف التشوينات في المستخلصات (75% مثلا من سعر المواد الخام نفسها). مع ملاحظة أنه يتم احتساب التشوينات ذات التكلفة المرتفعة فقط مثل الكابلات.

1-5-3 الاستقطاعات من المستخلصات:

سبق وأن أشرنا إلى أن إجمالي قيمة كل مستخلص تعبر عن إجمالي قيمة كل الأعمال التي تم تنفيذها بالمشروع منذ بدايته و حتى تاريخ عمل المستخلص، و لمعرفة المبلغ المستحق للصرف للمقاول فينبغي أن نشير أيضا إلى الاستقطاعات Cuts التي يتم خصمها من كل مستخلص للحصول على ما يسمى بصافي المبلغ المستحق للصرف. وهذه الاستقطاعات تشمل:

1. خصم نسبة الممارسة إن وجدت (نسبة التخفيض التى تم الاتفاق عليها بجلسة الممارسة)
2. خصم الضرائب و التأمينات (يتم تقديرها بمعرفة قسم الإدارة المالية لدى المالك).
3. خصم نسبة الدفعة المقدمة من كل مستخلص (10% من قيمة المستخلص وتعرف أيضا بنسبة التعلية) حتى يتم استردادها بالكامل مع المستخلص الختامي، وبالتالي يصبح خطاب الضمان الذى قدمه المقاول هو المبلغ المتبقى بالكامل لضمان التزام المقاول بعمل الإصلاحات خلال سنة الضمان بعد انتهاء المشروع.
4. وهناك خصومات لا ترد ولكن تورد إلى الجهات الرسمية فى البلاد والمقصود بها ضرائب المبيعات وضرائب الأرباح التجارية والصناعية والتأمينات الاجتماعية على المقاولة وما فى حكمهم.
5. وهناك نوع آخر من الخصومات التى لا ترد وتكون بمثابة تخفيض للمبالغ المستحق صرفها والمقصود بها المبالغ المخصومة بشكل نهائى من المستخلصات مثل غرامات التأخير فى تسليم الأعمال، وغرامات عدم الحفاظ على إجراءات السلامة فى الموقع، وكل ما يستجد من غرامات على نفس الشكل. وبالطبع سيتم خصم ما سبق صرفه من دفعات مالية للمقاول.

6-1 دراسة وتحليل أسعار العطاءات BIDDING ANALYSIS

تعتبر عملية دراسة العطاءات Tenders هى محور أعمال المقاولات، والأساس القوى الذى يمكن المقاول من الاستمرار في السوق والنمو من خلال الربح الذى يقدره المقاول فى عطائه ويحاول جاهدا أن يحققه أثناء تنفيذه للمشروع. وعموما وفى كثير من الأحوال فإن قوة ونجاح شركة المقاولات عادة يقاس بمقدار نجاح هذه الشركة فى عملية دراسة العطاءات وخاصة عندما تشتد المنافسة فى سوق المقاولات.

1-6-1 مراحل القرار لدخول العطاء

أ – المستوى الأول :تتخذ إدارة الشركة القرار المبدئي لدخول العطاء بعد الإعلان عنه أو الحصول على دعوة لتقديم عرض، ويكون ذلك بناء على معرفة بعض المعلومات المبدئية عن المشروع مثل :

- طبيعة ونوع الأعمال المطلوب تنفيذها.
- مدى توافر الخبرة فى هذا المجال.
- مكان المشروع (فى الداخل / فى خارج البلاد) .
- إمكانيات وسمعة كل من الاستشاري والعميل.
- أى شروط جوهرية أخرى.

وبعد اتخاذ القرار المبدئي بالدخول فى العطاء تأتى المرحلة التالية.

ب – المستوى الثاني :بعد الحصول على مستندات العطاء تزداد كمية البيانات والمعلومات المتاحة عن المستوى السابق وبالتالي يمكن اتخاذ قرار الاستمرار فى الدراسة والبدء في حساب التكاليف الفعلية من عدمه (انظر المزيد من التفاصيل عن دراسة العطاءات في القسم 1-7 التالى).

ج – المستوى الثالث : يتم الوصول له بعد الانتهاء من عملية تحليل وتقدير التكاليف حيث يكون القرار بتقديم العطاء من عدمه، وفى هذه المرحلة يكون القرار فى يد الإدارة العليا التى تكون لها رؤية استراتيجية فى التقدم للعطاء.

7-1 خطوات دراسة العطاءات

تمر عملية دراسة العطاءات لمشروع ما بخطوات متعددة منها:

1. عمل تقرير عام عن المشـروع وذلك لتمكين الإدارة العليا من تحديد مدى إمكانية الدخول فى العطاء من عدمه.
2. الحصـول على أسعار المواد فى المشروع وذلك من الموردين وكذلك الحصـول على عروض أسعار من مقاولي الباطن فى حالة النية فى إسناد بعض الأعمال لهم.
3. زيارة موقع العمل Site Visit، وكذلك المناطق المحيطة به والحصول على المعلومات الخاصة عن الموقع والتى تؤثر فى تنفيذ العقد.
4. إعداد طريقة التنفيذ المقترحة للمشـــروع وعمل برنامج زمنى ابتدائى وتحديد احتياجات المشـــروع " معدات – خامات – عمالة – مقاولي الباطن "
5. عمل التخطيط العام للموقع وتحديد التجهيزات والإنشاءات المؤقتة المطلوبة للمشروع وعمل التصميم اللازم لهذه التجهيزات " مكاتب – مخازن – أسـوار – طرق – إعاشــة – مظلات سـيارات، دورات مياه ،...الخ.
6. عمل قائمة بالخدمات المطلوبة للمشـــروع أثناء مراحل تنفيذه المختلفة " خطوط الكهرباء والتليفونات المؤقتة – خطوط المياه المؤقتة – خطوط الصرف الصحى المؤقتة... الخ "
7. عمل الهيكل التنظيمى للمشـــروع وتحديد الوظائف الإشـــرافية المختلفة أثناء مراحل تنفيذ المشـــروع المختلفة " مدير المشروع – مدير التنفيذ – المحاسب – أمين المخزن – مراقب البوابة – المشرفين الفنيين...الخ ".
8. مراجعة الرسومات المعمارية والإنشـائية للمشروع مراجعة سريعة للتحقق من سـلامة التصـميم وكذلك مراجعة قوائم الكميات Bill of Quantities للتحقق من حصر الكميات.
9. تقدير التكاليف المباشرة للمشروع " عمالة – معدات – خامات – مقاولي الباطن "

10. تقدير التكاليف غير المباشرة للمشروع والخاصة بمصاريف ومستلزمات الموقع حسب ما جاء بالبنود السابقة.

11. مراجعة ودراسة الشروط المالية المتوقعة فى العقد وكذلك الشروط المالية الخاصة بالموردين ومقاولي الباطن وعمل برنامج تدفقات نقدية للعطاء للتنبؤ بالأعباء التمويلية للمشروع على مدار فترات تنفيذه المختلفة.

12. تقدير المصروفات العمومية General Overhead حسب سياسة الشركة وحسب ظروف وموقع المشروع على خريطة عمل الشركة.

13. إعداد تقرير عن أنواع المخاطر المحتملة للمشروع " Risk assessment "

14. أحيانا يقوم المالك أو الاستشاري بفرض نوعيـــــــــة معينـــــــــة من مقاولي الباطـــــــن (Nominated Sub Contractor) لكى يقوموا بتنفيذ بنود محددة فى المشــــروع. وبالتالى فلابد لمحلل الأسـعار أن يقوم بتحديد البنود (أو أجزاء من البنود) التى سيتم إسـنادها لهذه النوعية تحديدا من مقاولي الباطن والاستقرار على أفضل العروض الممكنة.

ويمكن تلخيص أهم البنود التى تحسم مشاركة الشركة فى هذا العطاء من عدمه فيما يلى:

- قيمة الدفعة المقدمة.
- تكلفة تجهيزات الموقع.
- قيمة دفعة التشوينات.
- قيمة التأمين المحتجز.
- مدة اعتماد المستخلص.
- مدة سداد المستخلص.
- حجم الإعفاءات الجمركية.
- حجم الموافقات الاستيرادية.
- وجود الإعفاء الضريبي Tax exemption من عدمه.
- عملة المستخلص (جنيه/دولار).
- قيمة خطابات الضمان.

وفيما يلى نعرض لبعض المهام التى يقوم بها محلل الأسعار وذلك بصورة أكثر تفصيلا :

1-7-1 التخطيط للمواد الخام

تمثل المواد الخام 50% من تكلفة المشـــروع، ولذا يجب على محلل العطاءات أن يقوم بتخطيط ودراســـة توريد هذه المواد بهدف تحقيق:

- مطابقة الخامات الموردة للمواصفات المطلوبة.
- الحصول على الخامات بأقل التكاليف الممكنة.
- التوريد بالمعدلات المناسبة لبرنامج تنفيذ الأعمال.

2-7-1 حساب تكلفة المعدات

تحتاج شركة المقاولات عند دراسة قرار دخول أى مشروع أن تحسم أولا حجم توافر المعدات المطلوبة لتنفيذ هذا المشـــروع، فبعض هذه المعدات قد لا تكون مملوكة للشـــركة، والبعض قد يكون موجودا لكن بكمية وأعداد لا تناســـب مدة التنفيذ المطلوبة. وعلى محلل أســـعار العطاءات أن يقارن بين أســـلوبين فى هذه النقطة:

- حساب تكلفة التملك لهذه المعدات.
- حساب تكلفة التأجير .

وفى كلا الحالتين سيحتاج لدراسة تكلفة التشغيل والصيانة والإهلاك حتى يأخذ القرار المناسب إما بالشراء أو التأجير إن لم تكن الشركة تملك بالفعل هذه المعدات.

3-7-1 حساب مصاريف ومستلزمات الموقع Site Overheads

وهذه المهمة تشمل :

- المرتبات والأجور للعاملين بالمشروع.
- تجهيزات ومصاريف الموقع.
- تسهيلات وخدمات الموقع.
- مصاريف سفر وضيافة.

- متنوعـــات.

1-7-4 حساب المصروفات العمومية General Overhead

وهذا البند يشمل :

- الأجور للعاملين فى إدارة الشركة.
- القيم الإيجارية لإدارات ومباني الشركة.
- الطاقة المستهلكة، الإمداد والتغذية بالمياه.
- وسائل الانتقال.
- المخازن العمومية.
- تكاليف دراسة العطاءات.
- التأمينات الصحية.

1-7-5 حساب الأعباء المالية Finance Cost

بالطبع كثير من شـركات المقاولات تحتاج لقروض من البنوك عند تنفيذ مشـروع كبير، ومن هنا يضـاف بنود أخرى للمصروفات تشمل :

- أعباء التمويل من البنوك.
- الضرائب والرسوم والدمغات ومصاريف خطابات الضمان.
- تكلفة تثبيت السعر .

1-7-6 حساب الهامش Mark Up

وهو عبارة عن نسـبة من إجمالي التكاليف المباشـرة وغير المباشـرة يتم تحديده بمعرفة الإدارة العليا وبناء على بيانات وتقارير محل الأسـعار وإدارة العطاءات بالشـركة وأي مصـادر أخرى للمعلومات. ويتكون من التالـى:

- المخاطرة
- الاحتياطي
- الربح

ومن المتعارف عليه أن هناك عناصر كثيرة يضعها المقاول (أو شركة المقاولات) فى اعتباره عند تحديد هامش الربح فى مرحلة تسعير العطاء وهى على سبيل المثال وليس الحصر:

- نوع المشروع ومدته ومكانه.
- المنافسين وقوتهم ونوعيتهم وجنسيتهم.
- خبرة الشركة فى النوعيات المماثلة للمشروعات.
- الاستشاري والمصمم والمستخدم.
- مدى توافر المعدات والتكنولوجيا والعمالة المطلوبة فى المشروع.
- مدى الاحتياج لهذا المشروع.

1-7-7 عمل دراسة عن تقدير المخاطر

يخضع كل مشروع لنسبة إضافية للمخاطر غير المحسوبة والعوامل المؤثرة فى تحديد قيمة المخاطرة، من قبيل:

- مكان المشروع (محلى أم فى دولة أخرى).
- الاستشاري والخبرة السابقة فى التعامل معه.
- الخبرة السابقة فى التعامل مع المالك.
- مدى الاستقرار السياسي والاقتصادي وثبات ووضوح وشفافية قوانين النقد والاستيراد والعمل والجمارك والضرائب والتجارة والهجرة فى الدولة التى يقع فيها المشروع.

ويكفى هنا أن تعلم أن مئات من شركات المقاولات تعرضت لما يشبه الإفلاس بعد قرار تعويم الجنيه فى 3 نوفمبر 2016، فلو كان مثلا تقدير الشركة لشراء معدات أو خامات هو مليون دولار، فإن هذا المبلغ كان يساوى 8 مليون جنيه يوم 2 نوفمبر فصار تقريبا 20 مليون جنيه يوم 3 نوفمبر 2016!!. فضلا عن تغير قوانين الاستثمار والضرائب بين عشية وضحاها.

1-7-8 ما هى مصادر المعلومات لهذه المهام؟

والإجابة المختصرة: أنه يتم تحديد سعر تنفيذ كل بند فى قوائم الكميات للمشروع بناءاً على مصادر المعلومات التالية:

- عروض الأسعار الحالية.
- عروض الأسعار السابقة.
- أسعار المصنعيات.
- القوائم الدورية بأسعار المواد.

8-1 نماذج لجداول الحصر

ونختم هذا الفصل بنموذج لبعض الفئات في جداول حصر الكميات.

ITEM	BILL No. 1 - ELECTRICAL SERVICES: MAINS SUPPLY, DISTRIBUTION & EARTHIN(					
	DESCRIPTION	QTY	UNIT	BASIC RATE	FIXED RATE	TOTAL COST
	PHCN CONNECTION					
1	Allow for PHCN connection at 11KV including all charges, fees, poles, isolators,					
	skipper panel/metering facilities, etc.(contractor **must** provide details/breakdown)					
	Meters to include PHCN KVA(Max), KWHr & KVAr etc.	sum				
	Supply,install, commission and maintain for 1 year defect liability period and/or warranty the following:					
2	HV Switchgear					
a	11kV, 50Hz, 400A 250MVA free standing HV panel with 4No. sections					
	and comprising of:					
	INCOMING SECTION - 1No.					
	630A TP SF6 withdrawable circuit breaker complete with shunt trip coil,					
	closing coil, locking magnet and					
	indicators for open, close and trip operations with solid state					
	protection relay, surge arrestors, space heaters, hygrostat,					
	multimeter and current transformers etc.					
	BUS/METERING SECTION - 1No.					
	1No 630A TP SF6 withdrawable circuit breaker complete with shunt					
	trip coil, closing coil, locking					
	magnet and indicators for open, close and trip operations with space					
	heaters, voltage transformers and current transformers etc.					
	OUTGOING SECTION - 2Nos.					
	2No @ 630A TP SF6 withdrawable circuit breaker complete with shunt					
	trip coil, closing coil, locking					
	magnet and indicators for open, close and trip operations with solid					
	state protection relay, surge arrestors, space heaters, hygrostat,					
	multimeter and current transformers etc.					
	e.g. Merlin Gerin, ABB or Approved equal.	1	No			
b	Tripping unit c/w trickle charger and battery cabinet	1	,,			
c	Control and monitoring panel for Bucholtz and Winding temperature					
	devices on transfomers complete with indicators, push button controls etc.	2	,,			
3	TRANSFORMER					
a	650kVA 11/0.4kV, 50Hz Dyn1, ONAN oil immersed step-down					
	transformer c/w bucholz & winding temperature protection,					
	oil conservator tank with silica-gel breather, cable boxes etc.					
	The transformer shall be the type without feedhorns.					
	e.g. Elco, ABB or approved equal	2	,,			
b	Parallel redundancy configuration bus complete with					
	- 2No 1250A 4p ACB as Incomer and 1No 1250A 4p ACB as outgoing					
	for 1 or the other cofiguration with a manual transformer selector switch					
	c/w overload, earth fault protection including shunt trip coil etc., local LED					
	fault indicators, Ammeter and Voltmeter with seven position selector					
	switch and current transformers etc.	1	,,			
4	650kVA, 3ph, 400V, 50Hz Automatic Voltage regulator at +/_15%	1	,,			
Page 1/1	*To Collection*					

ITEM	BILL No. 1 - ELECTRICAL SERVICES: MAINS SUPPLY, DISTRIBUTION & EARTHIN(					
	DESCRIPTION	QTY	UNIT	BASIC RATE	FIXED RATE	TOTAL COST
5	GENERATOR					
	350KVA, 50HZ, 400V, turbo-charged, electric start, water cooled,					
	Prime diesel generator complete with heat exchangers. The generator shall be					
	The soundproof type. Engine shall be rigidly coupled to a					
	self regulating alternator with necessary instrumentation and					
	Controls mounted on the set. The set is to be fitted with the following;					
	- Integral base tank to manufacturers standard.					
	- Generator exhaust system comprising of horizontal black					
	mild steel pipe with line silencer and a vertical section					
	terminating in a goose neck to the set and shall be the residential type.					
	- Allow for the extension of the generator exhaust by 3m.					
	- Spare parts for 5000hrs operation.					
	e.g. Cat, Cummins engine generator or Approved equal	3	"			
6	LOAD SHARING/SYCHRONISING/AMF Control					
	Auto-mains failure start/change over, synchronising control panel &					
	load sharing e.g. Legrand, Mane, or Approved equal.	1	No			
7	Main Switch Board(MLVP)					
	Free standing/wall mounted 500V, 1250A rated busbars, switchboard comprising:					
	Incomer					
	- 3No 630A 4p ACB c/w overload,					
	- 1No 1250A 4p ACB c/w overload,					
	Bus Section					
	- 1No 630A 4p MCCB c/w overload,					
	c/w overload, earth fault protection including shunt trip coil etc., local LED					
	fault indicators, Ammeter and Voltmeter with seven position selector					
	switch and current transformers etc.					
	Outgoing					
	complete with 32A busbars, AC/3 rated contactors					
	and external lighting contactor and photocell kit and override switch					
	- 1No 630A TPN ACB c/w meters					
	- 1No 400A TPN MCCB					
	- 2No 200A TPN MCCB					
	- 6No 100A TPN MCCB					
	- 4No 63A TPN MCCB					
	- 5Nos 45A TPN MCCB					
	- 2Nos 32A TPN MCCB					
	- 1No 25A TP MCCB					
	- 1No 40A SPN MCCB					
	- 1No 5A SP MCB					
	- 8Nos 20A SP MCB c/w contactor					
	- Surge diverter as specified. e.g. Legrand, Mane, or Approved equal.	1	"			
8	Main Office Sub-panel(SMB - M)					
	Free standing/wall mounted 500V, 800A rated busbars, switchboard comprising:					
	Incomer					
	- 1No 630A TPN ACB c/w meters					
	Outgoing					
	- 1No 400A TPN MCCB					
	- 1No. 200A TPN MCCB c/w meters					
	- 1No. 100A TPN MCCB					
	- 4No 63A TPN MCCB c/w meters					
	- 4No 63A TPN MCCB					
	- Surge diverter as specified. e.g. Legrand, Mane, or Approved equal.	1	No			
Page 1/2	*To Collection*					

ITEM	BILL No. 1 - ELECTRICAL SERVICES: MAINS SUPPLY, DISTRIBUTION & EARTHIN(					
	DESCRIPTION	QTY	UNIT	BASIC RATE	FIXED RATE	TOTAL COST
9	Ground Floor Panel(SMB-G)					
	Wall/free standing floor sub-main board(SMB's) comprising of:					
	Incomer:					
	200A TPN MCCB, 200A busbars with ammeters, voltmeter with selector					
	switchoverload, earth fault protection including shunt trip coil etc., local					
	LED fault indicators, Ammeter and Voltmeter with seven position					
	selector switch and current transformers etc.					
	Outgoing					
	- 4Nos. 63A TP MCCB					
	- 2Nos. 32A TP MCCB					
	- Surge diverter as specified. e.g. Legrand, Mane, or Approved equal.	1	"			
10	Roof Terrace (Fifth) floor panel(SMB-R1)					
	Wall/free standing floor sub-main board(SMB's) comprising of:					
	Incomer:					
	400A TPN MCCB, 400A busbars with ammeters, voltmeter with selector					
	switchoverload, earth fault protection including shunt trip coil etc., local					
	LED fault indicators, Ammeter and Voltmeter with seven position					
	selector switch and current transformers etc.					
	Outgoing					
	- 2Nos. 63A TP MCCB					
	- 16Nos. 32A TP MCCB					
	e.g. Legrand, Mane, or Approved equal.	1	No			
11	Roof (Sixth) floor panel(SMB-R2)					
	Wall/free standing floor sub-main board(SMB's) comprising of:					
	Incomer:					
	100A TPN MCCB, 160A busbars with ammeters, voltmeter with selector					
	switchoverload, earth fault protection including shunt trip coil etc., local					
	LED fault indicators, Ammeter and Voltmeter with seven position					
	selector switch and current transformers etc.					
	Outgoing					
	- 2Nos. 16A TP MCCB					
	- 11Nos. 32A TP MCCB					
	e.g. Legrand, Mane, or Approved equal.	1	No			
12	UPS Busbar					
	Wall mounted UPS busbar comprising of:					
	Incomer:					
	100A TP MCCB, 100A busbars c/w meters					
	Outgoing					
	- 2No 100A TP MCCB					
	e.g. Legrand, Mane, or Approved equal.	1	"			
	UPS Equipment					
	- UPS system to be configured for 1+1 parallel redundant operation					
	- Supplied c/w network cards (RJ45) for link to IT System					
13	True On-line, 1+1 Mode, 60KVA					
	3-Phase in/out, 50Hz, 415V UPS with the following:					
	- 1+1 Module for the applicable series & 10m Cable					
	- Integral by-pass switch					
	- Battery Cabinet with Battery CCT Breaker					
	-15-minute Autonomy Battery String -3-yr life					
	- operating softwares for remote monitoring					
	E.g. APC or approved equal	2	"			
Page 1/3	*To Collection*					

والمثال التالى لحصر الكميات المستخدمة في أعمال الشبكة الكهربية الخارجية وأعمال الـــ Land Scape لأحد المشاريع:

Section:LANDSCAPE WORK		DATE :MAR, 2018			
PROJECT: EAST ADDRESS DORA PROJECT NO.: W-P101		REV : 00			
ITEM	DESCRIPTION	UNIT	QTY	RATE EGP	AMOUNT EGP
	General Conditions 1- the contractor must follow all technical standards,design drawings,supervisor instructions according to electric distribution company in the project zone. 2- all breakers must be **fully selective** with others and contractor should be provide selectivity study. 3-All **work shop drawings** must be provided by contractor to get consultant approval before starting works in site. 4- All MCCB in all panel will be have coil ampere rating **same** as C.B frame size. 5-The contractor shall submit specifications and samples of any electrical work **for approval** from the consultant before delivery. 6-The contractor should be submit **As Built drawings** for approval at the end of project. 7-Electrical cable trays of **hot deep galvanized steel** thickness of **not less than 2 mm** with cover , static painted anti-corrosion.. 8-The contractor must be submitt the (C.V) for any cooporated **subcontactor** in this project for approval from consultant. 9-using **cable cap** for connection of sub-circuit.				
1	**Medium Voltage Cables (Incomig) to distribution room (Fee):**				
1.1	Supply, install, connect and test medium voltage Al. cables as incoming power cable source to feed distribution room (Board) as per city elec. power .Such elec. work will be by owner (fee) with city elec. power .	LS	1		
2	**Electrical Board(Medium tension grade 22KV)** **in The Ditribution room (DISTRIBUTER)**				
2.1	Supply, install, connect and test medium voltage panelboard(22KV) will be by ower(fee) with city elec power for such work.The owner will provide this room with suitable size and Arch. arragements. The Elec. works will include all the work and necessary fittings required to complete the job. All in a neat work like manner.	LS	1		
1	**TRANSFORMER FOR DISTRIBUTER:**				
1.1	Supply, install, testing and commissioning of OIL Type Transformer including protective devices, main circuit breakers, isolator switches, connections, all necessary fixing accessories, all as detailed on drawings, specifications and workmanship. OIL Type Transformer : 100KVA; PRI 22 KV; SEC 22/0.4KV, 3PH, 4W, 50Hz.	.No	1		
2	**POWER DISTRIBUTION TRANSFORMERS:**				
	Supply , Install, Operate, and test the following items.The unit price includes all the works and necessary fittings required to complete the job according to the specification, drawings and other contract documents. All in a neat work like mannar.				
2.1	Step down transformer , 1000KVA ,22/0.4 KV, 3 phase ,50Hz,low loss **Oil type** , the transformer must matches with city Elec. Company and has their approval.	No.	25		

Section:LANDSCAPE WORK		DATE :MAR, 2018			
PROJECT: EAST ADDRESS DORA PROJECT NO.: W-P101		REV : 00			
ITEM	DESCRIPTION	UNIT	QTY	RATE EGP	AMOUNT EGP
3	**Fire Standpipe System**				
3.1	Supply, erection, testing and commissioning of Modular automatic dry powder 12 kg fire extinguisher, ceiling mounted in tr. rooms, complet with glass bulb and all accessories located in tr. Rooms, gen sets rooms, MDBs/EMDBs rooms.	.No	25		
4	**Compact Copper Busbar (Between TR. & MDB)**				
	Supply, install, connect and test compact AL. busbar system 4.5 wire (clean Earth) (L1,L2,L3,N,1/2 CPE,PE(housing)) complete with Elbows .The unit price includes all the work and necessary fittings required to complete the job according to the specification ,drawings and other contract documents. All in a neat work like manner.				
4.1	Compact Busbar system,2000A,to feed each MDB-1000 from each TR1000KVA	M.T	270		
5	**RING MAIN UNIT:**				
	Supply , Install, Operate, and test ring main units (3+1).The unit price includes all the works and necessary fittings required to complete the job according to the specification, drawings and other contract documents. All in a neat work like mannar.				
5.1	Ring main unit (RMU) 22KV feed TRANSFORMER 1000KVA. The RMU must matches with city Elec. Company and has their approval (with LBS 630A)	No.	25		
6	**Main low voltage distribution panel(Near each TR)**				
6.1	Furnishing, Supplying, installing, hooking up and testing main distribution board type **"MDP"** Complete with all components as specified and as indicated in the drawings,also including all necessary accessories and ancillary works required for complete installation.	No.	25		
7	**Electrical Distribution Equip. (PILLERS & FUSE BOXS) As Per City Elec. Co. Requirements.**				
7.1	Supply, install, connect and test all low voltage piller (200KVA) panelboards(380V/220V/50HZ) as per drawings. The Elec. works will include all the work and necessary fittings required to complete the job. All in a neat work like manner and must matches with city Elec. Company and have their approval.	No.	102		
5_2	Supply, install, connect and test all low voltage FUSE BOX (380V/220V/50HZ) as per drawings. The Elec. works will include all the work and necessary fittings required to complete the job. All in a neat work like manner and must matches with city Elec. Company and have their approval	No.	32		
6	**Medium Voltage Cables between (RMU to the Tr.) (in the room trench)**				
	Supply , install and test 18/30 KV ,Al cable XLPE/SWA insulated PVC sheathed, to be connected from RMU to the transformers . The unit price includes 22 KV heat chrink cable termenation & all materials & necessary fittings required to complete the work according to the specification , drawings and other contract documents . All in a neat work like manner.				
6_1	AL. XLPE/PVC 3X240mm2 cable	M.T	270		
7	**Medium Voltage Cables Underground (Outgoing) - to each Transformer as loops**				
	Supply, install, connect and test meduim voltage AL. cables 30/18KV - XLPE/SWA/PVC laid under ground to feed Transformer Loops (RMU) as per drawings, the cable laid between two layers of soft sand and warning tapes- using 6 inch diameter pipe at crossing streets. The unit price includes all the work and necessary fittings required to complete the job according to the specification ,drawings.and other contract documents. All in a neat work like manner.				
7_1	AL. XLPE/SWA/PVC 3x240 mm2 30/18 KV for all loops as per drawings from distribution rooms to each TR or from TR to anthor TR	Mt.	6000		
8	**Low Voltage Cables 0.4V Underground - from Transformers to Pillers & from piller to another**				

Section:LANDSCAPE WORK		DATE :MAR, 2018			
PROJECT: EAST ADDRESS DORA		REV : 00			
PROJECT NO.: W-P101					
ITEM	DESCRIPTION	UNIT	QTY	RATE EGP	AMOUNT EGP
8_1	Multi-core XLPE/STA/PVC insulated / sheathed 600/1000V:- furnishing, supplying , installing , connecting and testing of aluminum cables, including terminations, hooking up on cable trays or inside conduits and all necessary accessories and ancillary works required for complete installation as specified and as indicated in the drawings. -Cable (3x240+120)mm2,AL inside UPVC conduit for road crossing 4 inch diameter	Mt.	37000		
	Low Voltage Cables (from PILLERS of VILLAS TO FUSE BOX OF VILLAS)				
8_2	Ditto as above but (3x185+95) mm2,AL inside UPVC conduit for road crossing 4 inch diameter, including all necessary accessories and ancillary works required for complete installation as specified and as indicated in the drawings.	Mt.	1000		

Section:LANDSCAPE WORK		DATE :MAR, 2018			
PROJECT: EAST ADDRESS DORA		REV : 00			
PROJECT NO.: W-P101					
ITEM	DESCRIPTION	UNIT	QTY	RATE EGP	AMOUNT EGP
1	**Low Voltage Cables (underground,for street poles)**				
	Supply, install, connect and test low voltage Al. cables 0.6/1KV , MCAC PVC/STA/PVC laid under ground From TR MDB to ELSP`S and from ELSP`S to street lighting circuits as per drawings, the cable laid between two layers of soft sand and above it warning tapes- at crossing streets should be used 2 inch diameter pipe .The unit price includes all the work and necessary fittings required to complete the job according to the specification ,drawings.and other contract documents. All in a neat work like manner.				
1.1	AL. Cable MCAC PVC/STA/PVC 4X16mm2+E 10mm2 CU.PVC	L.S	1		
2	**Street Lighting Poles**				
2.1	Supply, install, connect and test Street lighting pole of 6 meter height with ONE arm for a luminare **CANDELA TYPE (3BROTHERS COMPANY)** of **105** watt LED lamp & with **SOLAR ENERGY** -220V-50HZ and internal wiring 3*3 mm2 cu.PVC/PVC inside each pole to be from the pole fuse box (C.B.) to the pole light fixtures, IP 65. The frame is rear part of the luminare made of high pressure die cast aluminum with strudy design . The frame is luinare skeleton on which gear tray assembly ,reflector and housing are mounted.The housing is made of high pressure die cast aluminum with very strong streamlined shape.Housing is considered the cover of driver compartment and upward reflector surface .An anodized aluminum reflector has specula surface finish achieving high luminare output ratio .Reflector surface is equipped with corrugated lines which diffuse light and form good lighting distribution along the road..The price include pole base as per civil structure drawigs.	No.	123		
	TOTAL				

4.0	**LandScape Lighting fixture**				
	Supply, install, connect and test landscape lighting fixture and complete with controls equipments for landscape lighting fixture operations as panel schedules . The unit price includes all the work and necessary fittings required to complete the job according to the specification ,drawings.and other contract documents. All in a neat work like manner.				
4.1	L1	No.	482		
4.2	L2	No.	1,314		
4.3	L3	No.	454		
4.4	L4	No.	200		
4.5	L5	No.	60		
4.6	L6	No.	41		
4.7	L7	No.	6		
4.8	L8	No.	40		
4.9	L9	No.	36		
5	**FENS Lighting fixture**				

Section:LANDSCAPE WORK		DATE :MAR, 2018			
PROJECT: EAST ADDRESS DORA		REV : 00			
PROJECT NO.: W-P101					
ITEM	DESCRIPTION	UNIT	QTY	RATE EGP	AMOUNT EGP
7	**Earthing System**				
7.1	Supply , install and test earthing system for low voltage switchgear (380/220) including earthing rods , earth condtinuity conductors , hand holes and connection to all equipments and steal parts inside the switchgear room . The unit price includes all required excavation and backfill , additional rods if required to achieve 2- ohm .Resistance to ground. The price includes also all materials & necessary fittings required to complete the work according to the specification , drawings and other contract documents . All in a neat workman like manner.	LS	25		
7.2	Same as item 7.1 but suitable for medium voltage switchgear & equipments(22KV),(2Ohm)	LS	26		
4	**Earthing System beside each piller**				
4.1	Supply , install and test earthing system for low voltage switchgear (380/220) including earthing rods , earth condtinuity conductors , hand holes and connection to all equipments and steal parts inside the switchgear room . The unit price includes all required excavation and backfill , additional rods if required to achieve 2- ohm .Resistance to ground. The price includes also all materials & necessary fittings required to complete the work according to the specification , drawings and other contract documents . All in a neat workman like manner.	LS	102		
9	***Fiber Optic & Telephone system:***				
9_1	Supplying ,installing , connecting and testing telephone outlet including boxes, including PVC conduits (Ø-20mm), cable size (2x0.6) from outlet to tel box especially (RJ-11) type . back boxes and all necessary accessories and ancillary works back to the respective telephone terminal box as specified and as indicated in the drawings .	No.	76		
9_2	Supplying ,installing , connecting and testing main distrbution fiber optic panel with fast connected terminal as specified and as indicated in the drawings As (TE DATA specs)	No.	1		
9_3	Supplying ,installing , connecting and testing of S.M Fiber optic cable 2 CORE including PVC conduits (Ø-50mm) , fittings, boxes , from TE DATA switch to each flat and all necessary accessories and ancillary works as specified and as indicated in the drawings but not include main circuit .	Mt.	21000		
9_4	Supplying ,installing , connecting and testing of S.M Fiber optic cable 2 CORE (Main Cable) including PVC conduits (Ø-100mm) , fittings, boxes , from Main fiber optic outdoor network to building (TE DATA switch) and all necessary accessories and ancillary works as specified and as indicated in the drawings but not include main circuit .	Mt.	10500		
10	***CCTV System:***				
10_1	Supplying ,installing , connecting and testing camera outlet including PVC conduits (Ø-20mm) , boxes, cable size (S.M Fiber optic cable 2 CORE) from outlet to CCTV RACK , and all necessary accessories as specified and as indicated in the drawings.	No.	99		
10_2	Supplying, installing, connecting and testing of outdoor color IP camera dome type with zoom option and all necessary accessories as specified and indicated in the drawings.	No.	99		
10_3	MEDIA CONVERTER	No.	18		
10_4	FIBER OPTIC CABLES AT SITE	MT	5500		
11	***Cable Tray and Cable Trunk:***				
11_1	supply and install galvanized steel cable tray for power cable (30x10)cm, 2mm thickness with its cover. The item is complete with all required hooking up and fixation and all needed pins, angles, anchors, joints, supports ,fittings (from ground, ceiling and walls) and all needed accessories according to consultant's approval according to drawings and specifications.	M.T	5		
11_2	Ditto as above but galvanized steel cable tray (20x10)cm, 2mm thickness with its cover.	M.T	30		
11_3	Ditto as above but galvanized steel cable trunk (10x10)cm, 2mm thickness with its cover.	M.T	30		
	TOTAL ELECTRICAL WORKS				

نموذج لإعداد

مبادئ أسس التصميم لمشروع

Conceptual Design

يشتمل أسس التصميم المبدئى (Conceptual Design) لمنظومة القوى الكهربية على الأعمال التالية:

- دراسة تقديرية للأحمال (راجع الفصل الثالث)
- دراسة عن أسلوب التغذية (شبكات الضغط المتوسط، الموزع الرئيسي، لوحات تغذية حلقية، لوحات توزيع، كابلات الخ).
- معالم شبكات الضغط المنخفض التي ستستخدم (لوحات رئيسية، وفرعية، إنارة، كابلات الخ).
- معالم تصميم الإنارة الداخلية.
- أسس تصميم الإنارة الخارجية (طرق داخلية، زراعة، وجهات).
- مخارج القوى العادية.
- التغذية الداخلية.
- تغذية المعدات الميكانيكية (معدات التكييف، طلمبات المياه، طلمبات الحريق، سخانات المياه).
- أنظمة الأرضي والحماية من الصواعق.
- مصادر التغذية الاحتياطية.

وفيما يلى عرض لنموذج لدراسة Conceptual Design.

1- المكونات الرئيسية فى منظومة التغذية للمشروع

سيتم تغذية المشروع بالجهد المتوسط (50Hz ،22kV) عن طريق عدد 9 موزعات جهد متوسط سعة 30 MVA، داخل أرض المشروع، ويتم تغذيتهم من محطة خاصة بشركة توزيع الكهرباء (220/22 kV) خارج حدود المشروع.

محطات شـركة نقل وتوزيع الكهرباء المصـرية سـوف تقوم بتغذية الأحمال عن طريق الموزعات الخاصـة بالمشروع، بالإضافة إلى محطات التوزيع الفرعية (غرف المحولات) التي تحتوي علي وحدة التغذية الحلقية، ومحول توزيع القوي، ولوحـة توزيع جهد منخفض رئيســـية والتي تقوم بتغذية كهربـاء الجهد المنخفض للعمارات السكنية والفيلات وجميع استخدامات المشروع طبقا لاشتراطات شركة الكهرباء.



صورة توضيحية لموزع الجهد المتوسط

(راجع تفاصيل الأجزاء التالية في هذا البند في الفصل الثانى من هذا الكتاب)

1-2 وحدة تغذية حلقية جهد متوسط

يتم استخدام وحدات التغذية الحلقية (Ring Main Unit, RMU) من النوع SF_6 طبقا لاشتراطات شركة توزيع الكهرباء المختصة بالمشروع ومكوناتها كالتالى:

- مفتاح من النوع الفاصل عن الحمل (LBS) قدرة 630 أمبير لدخول الشبكة.
- مفاتيح من النوع الفاصل عن الحمل (LBS) قدرة 630 أمبير لخروج الشبكة.
- مفاتيح من النوع الفاصـل عن الحمل (LBS) قدرة 400 أمبير مع مصـهر (على حسـب سـعة المحول) و أجهزة القياس وملحقاتها.
- مفتاح من النوع الفاصل عن الحمل (LBS) قدرة 630 أمبير احتياطي.
- وحدة ربط RTU للتحكم فى الوحدة الحلقية من خلال الشبكة الذكية للمشروع.



صورة توضيحية لوحدة التغذية الحلقية Ring Main Unit

3-1 محولات توزيع القوى

تركب محولات التوزيع من النوع الجاف جهد 22/0.38 kV، 50Hz مزودة بملفات الألومنيوم وجهاز تغيير نسبة التحويل فى حدود ± 2.5% ومزود بأجهزة الحماية ومبينات الحرارة ومزود بمراوح للتهوية على أن يتم توصيل مخارج الجهد المتوسط بالقاطع الموجود فى لوحة توزيع الجهد المتوسط عن طريق كابلات الضغط المتوسط. ويتم توصيل مخارج الجهد المنخفض ببارات نحاسية مغلفة (Bus duct) ذات سعة تتناسب مع سعة المحول. وتوصل من الناحية الأخرى بدخول لوحات توزيع الجهد المنخفض.

سوف يتم استخدام محولات من النوع الجاف بقدرة 500 kVA، أو 1000 kVA بنسبة تحميل للمحول لا تتعدى 90% من القدرة الفعلية للمحول طبقا لاشتراطات شركة توزيع الكهرباء بالمنطقة.

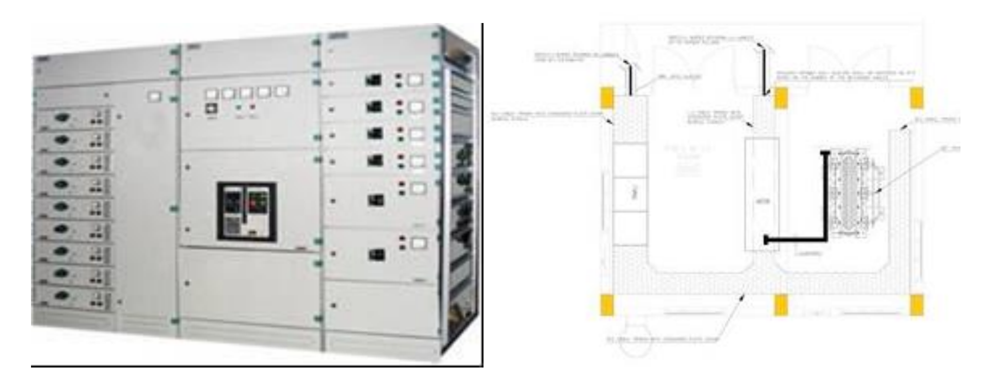


صورة توضيحية لمحولات التوزيع من النوع الجاف

4-1 لوحات توزيع جهد منخفض رئيسية:

وتستخدم لتوزيع الطاقة إلى صناديق توزيع الجهد المنخفض لقطع الأراضي للعمارات السكنية وإضاءة الشوارع وتتكون من:

- مفتاح قاطع أوتوماتيكي من النوع الهوائى (ACB) بسعة تتناسب مع سعة المحول المتصل به.
- مجموعة بارات نحاس مركب عليها عدد مناسب من الفيوزات، أو قواطع رئيسية بسعات تتناسب مع الأحمال المطلوب تغذيتها طبقا لاشتراطات شركة توزيع الكهرباء.
- مجموعة أجهزة الحماية والوقاية والقياس.
- مجموعة لمبات بيان.



صورة توضيحية لنموذج محطات التوزيع والمكونات الرئيسية للمحطة

1-5 صناديق توزيع الجهد المنخفض:

وتستخدم لتوزيع الطاقة إلى قطع الأراضى للفيلات أو المباني الخدمية وتتكون من:

- عدد من المصهرات للدخول والخروج بسعات تتناسب مع أحمال كل مبنى.
- مجموعة بارات نحاس ويوصل عليها الكابلات الداخلة الرئيسية مباشرة.
- وهى تكون طبقا لاشـــتراطات شـــركة توزيع الكهرباء وهى كما هو متوقع نوعين طبقا للأحمال كالآتي:-
- صندوق توزيع سعة 100 ك.ف.أ (250 أمبير).
- صندوق توزيع سعة 200 ك.ف.أ (400 أمبير).



صورة توضيحية لصندوق توزيع

1-6 مولدات الطوارئ الديزل

التى تعمل تلقائيا عند انقطاع التيار وبقدرات تغطى الأحمال المهمة والأســـاســـية وتتكون من النوع الثابت على كمرات حديدية، تبريد ماء، مزودة بخزان وقود بســـعة 8 ســـاعات وأجهزة الحماية والإنذار وعدادات القراءة. وفيما يلى الأحمال الأساسية التى سوف توصل على المولدات:

- مضخات الحريق.
- مضخات المياه والمجارى.
- أنظمة التهوية والحريق (SMOKE FANS).

- أحمال التيار الخفيف المطلوب تغذيتها من أحمال الطوارئ.
- بعض أحمال الإنارة والقوى داخل المباني أو فى الموقع العام للمشروع.



صورة توضيحية للمولدات الكهربية المستخدمة بالمشروع

1-7 وحدة عدم انقطاع القدرة الكهربية (UPS)

ســـيتم تركيب وحدة عدم انقطاع القدرة الكهربية (UPS) لتغذية الأحمال الحرجة التي لا يمكن أن تنقطع عنها الكهرباء كأحمال التيار الخفيف (شبكة المعلومات – شبكة الكاميرات – أنظمة الأمن والسلامة......) على أن تكون القدرة الكهربية للنظام كافية لاستيعاب تلك الأحمال لمدة 15 دقيقة.



صورة توضيحية لوحدة عدم انقطاع القدرة الكهربية (UPS)

2- أنظمة توزيع الكهرباء داخل المباني السكنية:

2-1 المباني السكنية متوسطة الارتفاع

- يتم نقل القدرة الكهربية من اللوحة الرئيسية للمحول بالدور الأرضي إلى لوحة رئيسية عمومية داخل غرفة الكهرباء التي يتم من خلالها تغذية الصواعد الكهربية الخاصة بتغذية الوحدات السكنية، علي أن يتم تقسيم تلك الصواعد إلى عدة مجموعات حيث يختص كل صاعد بتغذية عدد محدد من الوحدات السكنية بالأدوار المختلفة بصوره أفقية.

2-2 المباني السكنية شاهقة الارتفاع

المقترح الأول :

- سيتم الاعتماد علي محطة خاصة بكل مبنى سيتم إنشاءها في الدور الأرضي بداخل العمارة بالإضافة إلى محطة أخرى في منتصف المبني (MECHANICAL FLOOR) لتقليل مقطع الكابلات المستخدمة للصواعد لتلافي الهبوط في الجهد الناتج عن طول المسارات على أن تكون مكونات المحطة طبقا للنموذج السابق.

المقترح الثاني :

- سيتم الاعتماد علي عدة محطات خاصة بالعمارة سيتم إنشاؤها في الدور الأرضي بداخل العمارة علي أن يتم تغذية كل مجموعة من الطوابق من خلال صواعد تغذي من لوحة خاصة بهم علي أن يتم تغذية تلك اللوحات الموجودة في بعض الأدوار من خلال قضبان نحاسية (BUS-WAY) لتقليل مقطع الكابلات لتلافي الهبوط في الجهد الناتج عن طول المسارات.

وفى حالة المباني المتوسطة والشاهقة الارتفاع سيتم أيضا:

- توفير عداد من النوع الذكي لكل وحدة سكنية، يتم تغذيته من الصاعد عن طريق (ضفادع كهربية ومفتاح قاطع للحماية لكل وحدة سكنية علي أن يتم وضعه بأقرب نقطة بجوار الوحدة).
- الاعتماد علي مولد الطوارئ الديزل بسعة 500 kVA تقريبا، الخاص بكل مجموعة عمارات (CLUSTER)، وسيتم وضعه في غرفة مولدات بالدور الأرضي بداخل العمارة لضمان تغذية

أنظمة التهوية والحريق (SMOKE FANS) في حالة وجود خلل أو عطل في شـــبكة الكهرباء القومية أوتوماتيكيا مع توفير مستودع وقود شهري.

- بالنسبة للأجهزة الخاصة بأنظمة الأمن والسلامة سيتم تأمين تغذيتها من الـUPS لضمان استمرار تغذيتها حتي تشغيل المولد طبقا لمتطلبات أنظمة التيار الخفيف في المبني.

2-3 الفيلات :

- سوف يتم تغذية كل وحدة من خلال صندوق اتصال خارجى (Cofree) على أن تكون تغذية كل مجموعة من الصناديق من خلال صندوق توزيع (Pillar) سعة 100 kVA أو 200 kVA و يتم تحميلها بحد أقصـــى 80% مع الأخذ في الاعتبار أن تغذية الأحمال التي تزيد عن الأحمال المخصصة للـــ (Pillar) تكون مباشرة من اللوحات الرئيسية للمحولات بناءا علي التقدير المبدئي للأحمال الكهربية. مع مراعاة متطلبات شركة الكهرباء.
- يتم نقل القدرة الكهربية من صـــناديق توزيع إلى لوحة رئيســـية عمومية داخل الفيلا التي يتم من خلالها تغذية كل الدوائر الكهربية الخاصة بالفيلا.
- يتم توفير عداد من النوع الذكي لكل فيلا، يتم تغذيته من Cofree عن طريق مفتاح قاطع للحماية لكل وحدة سكنية علي أن يتم وضعه بأقرب نقطة بجوار الوحدة.

3- لوحات التوزيع الكهربية داخل المباني السكنية

يتم نقل القدرة الكهربية من اللوحات الرئيســـية داخل المحطات إلى اللوحات الرئيســـية الخاصـــة بالمباني الموجودة بغرف الكهرباء بالدور الأرضـــي عن طريق كابلات نحاســـية علي أن يتم توزيع القدرة من تلك اللوحات إلى لوحات التوزيع الكهربية داخل الوحدات الســكنية عن طريق الربط على الصــواعد الكهربية أو إلى اللوحات الخدمية بالمبنى الموزعة في المناطق المختلفة وذلك عن طريق كابلات نحاســـية وتتكون اللوحات من الآتي.

- مفتاح قاطع عمومي من النوع المقولب.
- مجموعة مفاتيح مقولبة أو منمنمة.
- مجموعة بارات نحاس.

- مجموعة عدادات ولمبات بيان.





صور توضيحية للوحات التوزيع الكهربية

3-1 لوحات المحركات المركزية (عادية وطوارئ)

يتم نقل القدرة الكهربية من اللوحات الرئيســـية إلى المعدات الميكانيكية الموجودة بأدوار المباني عن طريق كابلات نحاســية أو قضــبان نحاســية مدمجة علي أن يتم توزيع القدرة من لوحات المحركات المركزية إلى المعدات الموزعة في المناطق المختلفة وذلك عن طريق كابلات نحاسية وتتكون لوحات المحركات المركزية من الاتي.

- مفتاح قاطع عمومى من النوع المقولب.
- مجموعة مفاتيح مقولبة.
- البادئ بأنواعه.
- أجهزة الحماية و الوقاية.
- مجموعة بارات نحاس.
- مجموعة عدادات ولمبات بيان.



لوحة محركات مركزية

(راجع تفاصيل الجزئين السابقين (2، 3) في الفصل الخامس من هذا الكتاب)

4- الكابلات و الأسلاك :

4-1 كابلات الجهد المتوسط

تستخدم كابلات الضغط المتوسط (30/18) 24 كيلو فولت من كابلات ألومنيوم ثلاثية الأقطاب بعزل XLPE وبمساحة مقطع 240 مم^2 مسلحة مدفونة تحت الأرض و بحد أقصي 7.5 كم حتي نقطة الفصل ويكون أقصي هبوط للجهد علي شبكة الجهد المتوسط كما يلي.

-Substation voltage regulator bandwidth	1.0 VD%
-Primary Feeder	1.5 VD%
-Distribution Transformer	2.5 VD%



كابلات الجهد المتوسط

4-2 كابلات الجهد المنخفض المتعددة الأقطاب

تستخدم جميع كابلات الضغط المنخفض المتعددة الأقطاب (1/0.6) 1.2 كيلو فولت من النحاس وبعزل XLPE علي أن تكون غير مسلحة للتركيب داخل المباني وبالنسبة لخارج المباني من الألومنيوم وبعزل XLPE علي أن تكون مسلحة ؛ بالإضافة إلى استخدام كابلات مقاومة للحريق لتغذية أحمال اللازمة في حالة اندلاع الحريق و يؤخذ أيضا في حساب الكابلات الاعتبارات الآتية:

- الحمل للتيار الكهربي بحيث لا تقل سعته لحمل التيار الكهربي عن أقصى تيار تغذية للقاطع.
- هبوط الجهد بحيث لا يسمح بتعدى هبوط الجهد من نقطة التغذية الكهربية حتى أقصى نقطة إضاءة أو قوى عن 5% من الجهد الاسمى Rated voltage.
- مستوى تيار القصر.
- درجات الحرارة المحيطة.
- معامل تجميع الكابلات Grouping Factor.
- درجة حرارة التربة للكابلات المدفونة وعمق الدفن وكذلك Ground thermal resistivity.
- بدء حركة المحركات.
- معدات السلامة (Safety).
- طريقة تمديد الكابل ((Installation method سواء مدفون دفن مباشر، أو داخل مواسير، أو على حوامل كابلات وعدد طبقاتها



كابلات الجهد المنخفض متعددة الأقطاب

4-3 كابلات الجهد المنخفض أحادى القطب

يتم استخدام كابلات مضاعفة العزل أحادية القطب فى الصواعد الكهربية المستخدمة داخل المباني السكنية على أن تكون مماثلة لخواص الكابلات المتعددة الأقطاب.



كابلات الجهد المنخفض أحادية القطب

4-4 أسلاك الضغط المنخفض

تستخدم أسلاك الضغط المنخفض (750/450) فولت من أسلاك النحاس المصمت وتركب داخل مواسير كهربائية أو Turnking على ألا يقل مقطعها عن:

- دوائر الإنارة 2 مم^2 .
- دوائر الـ Sockets العادية 3 مم^2
- دوائر القوى 4 مم^2
- وبالطبع قد تختلف القيم الســـابقة من بلد إلى بلد، ففى الســـعودية مثلا تســـتخدم 2.5 مم^2 لدوائر الإنارة، و 4 مم^2 لدوائر القوى والـ sockets.
- دوائر المعدات الميكانيكية طبقا للحمل المطلوب لكل معدة.

(راجع تفاصيل الجزء السابق والتالي في الفصل الثاني من هذا الكتاب)

5- التمديدات الكهربية

5-1 أنظمة حوامل الكابلات

تستعمل للنقل الكابلات الكهربية وتكون مصنوعة من الصاج المجلفن بسمك يتناسب مع الأحمال الميكانيكية والأوزان المحملة عليه ويتم تحديد مقاساته طبقا لأقطار الكابلات المستخدمة وهى نوعان:

- نوع سلمى Ladder وهى عبارة عن زوايا من الصلب المجلفن على الساخن Hot Dip Galvanized Steel موصلة بعضها بعوارض من الخوص المعدنية المجلفنة.
- نوع على شكل حوض مثقب من الصلب المجلفن على الساخن والمثنى جدارها إلى أعلى وبارتفاع مناسب للكابلات المحمولة.
- علما بأنه سيتم اختيار مقاسات هذه الحوامل بحيث تثبت عليها الكابلات بمسافات لا تقل عن قطر الكابل.





حوامل الكابلات الكهربية

5-2 مواسير البلاستيك

وهى مواسير مصنوعة من مادة PVC بأقطار لا تقل عن 20 مم وتوصل بعضها ببعض بواسطة ملحقاتها مثل جلب التوصيل والأكواع والجلب وعلب التوصيل وعلب الشد وعلب المخارج وهى تركب مدفونة فى الخرسانة أو فى الحوائط أو خارجية تحت السقف الساقط.



مواسير تمديدات الكابلات الكهربية

3-5 مواسير الحديد المجلفن

وهى مواسير مصنعة من مادة الحديد والمجلفنة على الساخن من النوع الجاسئ وتوصل بواسطة ملحقاتها وتركب خارج الحائط بواسطة قفزان من الحديد المجلفن فى الأماكن الرطبة وحجرة الماكينات وأى أعمال ظاهرة. وفى كل الأحوال لا يجب أن يقل القطر عن 20 مم.

وتنقسم مواسير الحديد إلى نوعين :

1. النوع الأول هو (Electrical Metal Tube, EMT)، وتستخدم فى الأعمال الظاهرة أو فوق الأسقف المعلقة .
2. النوع الثانى هو (Rigid Galvanized Steel, RGS)، و تستخدم فى غرف الماكينات والأماكن الرطبة .

ويراعى فى اختيار الأقطار حساب نسب الملأ filling ratio.

6- الدوائر العمومية والمغذيات

1-6 دوائر الإضاءة

سيتم تصميم دوائر الإضاءة الداخلية بحيث تتكون من الأسلاك النحاسية أحادية القطب بمساحة مقطع لا يقل عن 2 مم^2 داخل مواسير البلاستك أو الحديد المجلفن بحيث يتناسب عدد الأسلاك مع قطر الماسورة مع الأخذ فى الاعتبار معامل الحيز. وبحيث يكون عدد نقاط الإضاءة على الدائرة الواحدة مناسبا لمساحة

المقطع وطول السلك للحصول على أقل انخفاض ممكن فى الجهد فى آخر نقطة. وهذه الدوائر ستحمى بواسطة مفاتيح منمنمة ذات سعات قطع مناسبة ولا يقل عن 10 أمبير على أن يتم فصل دوائر الطوارئ عن الدوائر العادية. وسيتم استخدام كابلات ألومنيوم لإنارة الشوارع والمناطق الخضراء.

6-2 دوائر الـ Sockets العادية

سيتم تصميم دوائر القوى الداخلية بحيث تكون من الأسلاك النحاسية أحادية القطب بمساحة مقطع لا يقل عن 3 مم^2 مركب داخل مواسير من البلاستك أو الحديد المجلفن سعة كل بريزة 16 أمبير.

(راجع تفاصيل الأجزاء السابقة في الفصل الرابع من هذا الكتاب)

7- أعمال الإضاءة

7-1 الإضاءة الخارجية

فى الطرق الداخلية يتم عمل تصميمات لأعمدة الإنارة لكى تعطى شدة الإضاءة المطلوب باستخدام وحدات من الليد LED بقدرات تتناسب طبقاً لدراسة حسابات شدة الإضاءة وكذلك كود CIBSE.



فى الأماكن المزروعة يتم تحديد نوع الوحدات بالتنسيق مع مصمم أعمال الزراعة طبقا للشكل الجمالى وشدة الإضاءة المطلوبة.



إضـــاءة خاصـــة للملاعب باســـتخدام وحدات إضـــاءة Flood Lighting تثبت على أعمدة على جوانب الملاعب لتحقيق شدة الإضاءة المطلوبة.



إضاءة الواجهات بما يتناسب مع التصميم المعمارى والرؤية الجمالية المطلوبة للمبنى.



7-2 الإضاءة الداخلية

وتشمل إضاءة الفراغات المختلفة داخل وخارج الوحدات السكنية والمباني على أن يتم تصميم الإضاءة لتلك الفراغات باستخدام وحدات إضاءة من النوع LED لتحقيق شدة الإضاءة المطلوبة ومعامل التجانس طبقا للأكواد التصميمية لأعمال الإنارة (ومن أشهرها

- Illuminating Engineering Society, IES للنظام الأمريكي
- والـ Charted Institute of Building Services Engineers, CIBSE للنظام الأوروبى

والجدول التالى يوضح شدة الإضاءة المطلوب تحقيقها فى بعض الفراغات الخاصة بمباني المشروع:

الفراغ	شدة الإضاءة (LUX)
ممرات	100-150
غرف خدمات MEP	200
مخازن	150
غرف إدارية ومكاتب	500
سلالم	75-100
جراج	75
مداخل	200

جدول يوضح شدة الإضاءة المطلوبة للفراغات

7-3 وحدات إضاءة الطوارئ

سيتم اختيار نسبة لا تقل عن 30% من وحدات الإضاءة للتوصيل على مولدات الديزل (هذه النسبة ليست بناءاً على الكود إنما هي من اختيارات المالك)، وأيضا وحدات الإضاءة المزودة ببطاريات أو تغذي من وحدة البطاريات المركزية سيتم تركيبها فى ممرات الهروب وبعض الأماكن الأخرى مثل غرف الكهرباء، كما سيتم تصميم وحدات هروب مركب عليها علامات الهروب والاتجاه طبقا للكود وذلك لسهولة تتبع الخروج فى حالة إخلاء المبنى.



7-4 طرق التحكم فى الإضاءة

- التحكم بواسطة مفتاح إضاءة لا يقل عن 10 أمبير داخل الغرفة نفسها.
- التحكم المركزى بواسـطة مفاتيح ضـاغطة يشـغل كونتاكتور مركب فى اللوحة الفرعية وذلك فى الطرقات والصالات الكبيرة والأماكن العامة.



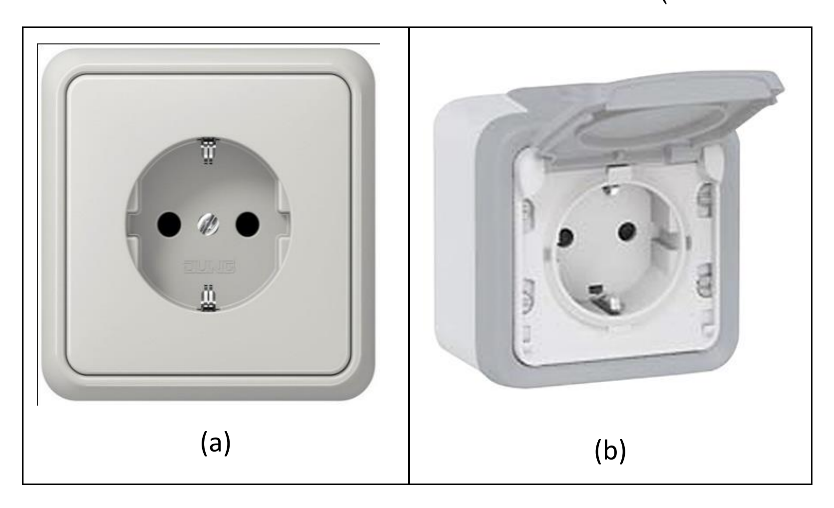

مفتاح إضاءة لوحة مفاتيح ضاغطة مركزية

(راجع تفاصيل الأجزاء السابقة في الفصل السابع من هذا الكتاب)

7-5 المخارج العامة الـ Sockets

سيتم التصميم على أساس توفير Sockets في كل الغرف على أن تكون ذات جهد 220 فولت(2P+E). وفي بعض الأماكن مثل المطبخ وبعض الغرف التي بها أجهزة كهربائية متعددة، سـيتم توفير Socket ذات جهد 380 فولت فى حالة الحاجة إليه وعلى أن تزود جميع المخارج بنظام الأرضي للحماية.

وفي الأماكن الرطبة والمعرضة للعوامل الجوية تكون الـــــ Sockets من النوع ذات حماية ضد العوامل الجوية (WP) كما تم توفير مفاتيح عزل (Disconnect Switch) لتغذية سـخانات المياه ومراوح التهوية والـ (Fan Coil Unit, FCU) الخاص بالتكييف.



صورة توضيحية لمأخذ كهربائية Socket

8- نظام الأرضي

سيتم تصميم نظام أرضي منفصل لتحقيق الحماية لكل من الأفراد ضد الصدمات الكهربية والمعدات من التلف وللوصول إلى أنسب نظام لتشغيل أجهزة الحماية ضد التيار الأرضي. وسوف يتم التصميم على أساس نظام (TN-S)، أو (TN-C-S) لمنظومة القوى الكهربية، ولذا فان جميع أجهزة الجهد المنخفض ستكون مصممة لهذا الغرض أى خمسة موصلات (ثلاث أطوار + متعادل+ أرضي) ويتكون النظام بالإضافة إلى الموصلات غير المعزولة على أقطاب للأرضي من نوع الصلب المغطى بطبقة نحاس داخل غرف تفتيش، ويحدد عدد الإلكترود ومقاس الموصلات طبقا لطبيعة التربة من حيث المقاومة الكهربية وذلك لتحقيق القيمة التالية:

- أقصى مقاومة للجهد المتوسط 2 أوم
- أقصى مقاومة للجهد المنخفض 2 أوم
- أقصى مقاومة للحماية من الصواعق 10 أوم
- أقصى مقاومة لأعمال التيار الخفيف لتحقيق أرضي نظيف 1/2 أوم



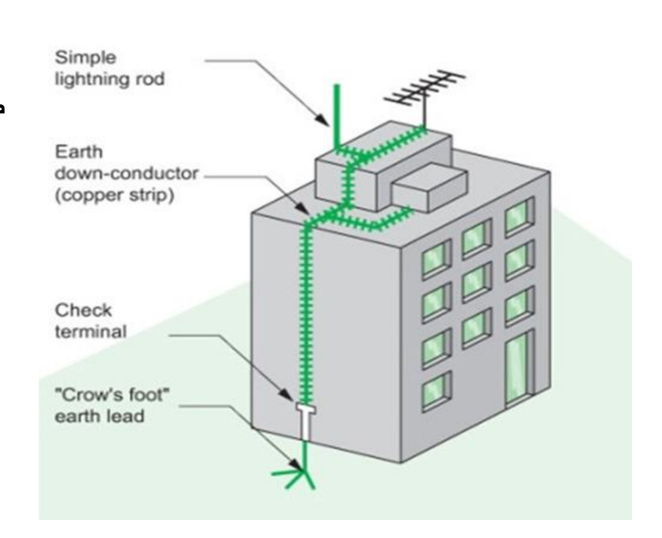


صور توضيحية لنظام الأرضي

9- الحماية من الصواعق

سيتم دراسة العوامل التى ترجح احتياج المباني لمانعة صواعق من عدمه طبقا للحسابات.

(راجع تفاصيل الأجزاء السابقة في الفصل السادس من هذا الكتاب)





صور توضيحية لنظام الحماية من الصواعق

10- اعتبارات التصميم

10-1 اعتبارات الظروف المناخية

سيتم تصميم وإنشاء واختيار المعدات والمهمات الكهربية على أساس معدلات الظروف المناخية التالية:

- أقصى درجة حرارة هى 45ºم.
- الرطوبة النسبية بين 6% إلى 90%.
- الارتفاع هو مستوى سطح البحر.
- أحيانا يوجد بعض الأتربة والغبار.

10-2 اعتبارات التوافق مع المعدات الأخرى

سيتم الأخذ فى الاعتبار عند تصميم وإنشاء واختيار المعدات الكهربية التوافق مع المعدات الكهربية والميكانيكية وكذلك مصادر التغذية لتلافى أى عدم توافق مثل الجهود الزائدة العابرة، الأحمال سريعة التغير، التيارات الزائدة عند بدء الحركة، التيارات التوافقية، الذبذبات عالية التردد، تيارات التسرب الأرضي.. الخ.

10-3 اعتبارات الصيانة

سيتم الأخذ فى الاعتبار عند تصميم وإنشاء واختيار وتركيب المعدات والإنشاءات الكهربية إمكانية سهولة الفحص والاختبار والصيانة والإصلاحات الضرورية خلال العمر الافتراضي لها وذلك بطريقة مأمونة.

10-4 اعتبارات الوقاية والأمان

سيتم الأخذ فى الاعتبار عند تصميم واختيار وتركيب المعدات والإنشاءات الكهربية كافة الاحتياطات الوقائية الأساسية لتحقيق أقصى درجات الأمان مثل ما يلى:

- الوقاية ضد الصدمات الكهربية سواء فى التشغيل العادى أو عند حدوث خطأ.
- الوقاية ضد التأثيرات الحرارية والحريق.
- الوقاية ضد زيادة الحمل.
- الوقاية ضد تيار القصر مع التنسيق الكامل بينه وبين زيادة الحمل.

- الوقاية ضد هبوط الجهد.
- الوقاية من عكس اتجاه التيار.

11- المواصفات القياسية والأكواد والمراجع

سـيتم التصـميم واختيار القدرات والتصـنيع والإنشـاء والتوريد والتركيب والاختبارات للمعدات الكهربية طبقا لأحدث إصدار لـ IEC المناظر لكل حالة. بالإضافة إلى الأكواد المحليـة الآتية:

- Egyptian Building Codes and Regulations
- International Electrotechnical Commission (IEC)
- Egyptian Standard Specifications (ES)

وفى حالة عدم تغطية هذه الإصدارات فإنه يعتد بآخر إصدار للأكواد الآتية:

- British Standard Specifications (BS)
- National Electrical Code (NEC)
- National Electrical Manufacturing Association (NEMA)
- Association of German Engineers Specification (VDE)
- German Industry Standards (DIN)
- Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE)

الفصل الثاني

المعدات والمواد الرئيسية فى التركيبات الكهربية

2

الفصل الثاني

المعدات والمواد الرئيسية فى التركيبات الكهربية

Main Electrical Equipment and Materials

بعد توليد الطاقة الكهربية فى محطات التوليد الرئيسية يتم رفع الجهد داخل هذه المحطات حتى يصل إلى 500 kV أو 220 kV كما فى مصر، أو 400 kV كما فى معظم دول الخليج بواسطة محولات رفع من أجل خفض الفقد فى الطاقة أثناء مرحلة نقل الطاقة إلى مناطق الاستخدام، وكذلك من أجل تقليل الهبوط فى الجهدVoltage Drop. ويتم بعد ذلك خفض الجهد إلى 11kV، وأحيانا 22kV، قرب مناطق التوزيع الرئيسية مثل المدن والمنشآت الصناعية الكبيرة تمهيدا لتغذية الأبنية الكبيرة والمصانع و محولات التوزيع في الأحياء السكنية التي توضع فى محطات التوزيع الثانوية Distribution Substation، حيث تقوم هذه المحولات بخفض الجهد مرة أخرى إلى 400 V (3-Phase) وهو الجهد المستخدم داخل المنازل.

والكتاب لا يتعرض لمعدات القوى الكهربية الموجودة فى مرحلة التوليد أو مرحلة النقل أو تفاصيل شبكة توزيع الجهد المتوسط ومحطات التوزيع الابتدائية (تفاصيل هذه المراحل وغيرها فى كتابى الرابع: هندسة القوى الكهربية). أما شبكة التمديدات التى نحن بصدد الحديث عنها فى هذا الكتاب فهى تبدأ فعليا من محطة التوزيع الثانوية، وتنتهى عند الأحمال داخل المباني، ولذا يهتم الكتاب فقط بالمعدات المستخدمة ضمن هذه المرحلة وأغلبها في مرحلة الجهد المنخفض.

وعموما فإن مصطلح " منظومات (شبكات) التوزيع الكهربية Power Distribution System " يشمل التركيبات والتصميمات في مرحلة الجهد المتوسط ويشمل أيضا التركيبات والتصميمات في مرحلة الجهد المنخفض، وهذه الأخيرة هي التي يهتم بها هذا الكتاب.

ويمكن القول أن منظومة التوزيع في هذه المرحلة مهما كانت درجة تعقيدها – فإنها تتكون فى الأساس من أربع مجموعات رئيسية من **المعدات**، وهى:

1-المجموعة الأولى : وهى مجموعة أجهزة القوى الرئيسية Power Handling Equipment وتشمل:

- لوحة الجهد المتوسط Medium Voltage Switch Gear.
- المحول ويلحق به RMU Ring Main Unit.
- مولدات الطوارئ، و يلحق بمولدات الطوارئ الـ Automatic Transfer Switch ATS، كما سنشير بالتبعية إلى الـ UPS.
- لوحات التوزيع Distribution Boards بأنواعها المختلفة.

2-المجموعة الثانية: و هي مجموعة الكابلات والموصلات وطرق تمديداتها Wiring and Raceways وتشمل :

- الكابلات Cables والموصلات Conductors بأنواعها المختلفة.
- الـ Bus Duct
- ويلحق بهذه المجموعة دراسة طرق التمديدات المختلفة مثل استخدام حوامل الكابلات Cable (Trays)، والـ (Raceways)، والمواسير (الصلبة والمرنة) ، ودفن الكابلات بالأرض، إلخ.

3- المجموعة الثالثة : وهى مجموعة الـ Protective Devices، وتضم أجهزة الوقاية المختلفة مثل :

- القواطع(CBs) بأنواعها.
- الفيوزات.
- أما أجهزة الحماية الأعلى من ذلك مثل الـ Differential or Overcurrent Relays فهى خارج نطاق هذا الكتاب، ويمكن الرجوع لكتابى "نظم الحماية الكهربية" للمزيد حول هذه النوعية من أجهزة الوقاية.

3- المجموعة الرابعة وهى مجموعة Control and Utilization Equipment، وتشمل:

- الأحمال مثل لمبات الإنارة والمحركات والمصاعد وأجهزة التكييف.

- كما تشمل معدات التحكم مثل الــ Contactors، والــ Dimmers، و المفاتيح العادية، والمفاتيح الخاصة بأنواعها المختلفة change-over, etc، cross-over .
- البرايز (المآخذ الكهربية)، وتسمى أيضا المقابس، وكلها تعنى (Sockets).
- بالإضــافة إلى مجموعات التيار الخفيفLight Current والتى تشـمل التليفونات وأجهزة الإنذار ضـــد الحريق Fire Alarm والإيريال المركزى Central Satellite، والصـــوتيات، والتحكم في الأبواب Door Access وغيرها.

وفى الأجزاء التالية سنبدأ فى شرح طبيعة دور كل عنصر من عناصر المجموعة الأولى والثانية والثالثة، وأهم المواصفات الخاصة به، بالإضافة إلى عناصر منتقاة من المجموعة الرابعة، مثل الـــ Contactors الذي سندرســه في هذا الفصـل، و مثل اللمبات و التي سـيتم الحديث عنها تفصـيلا فى الفصـل السـابع، وسـنشـير أيضـا إلى ملامح فى عمل التكييف والمصـاعد فى الفصـل الثالث. أما بقية عناصـر المجموعة الرابعة فمعظمها خارج حدود هذا الكتاب، ويمكن الرجوع لكتابى الخامس : "المرجع فى شـــبكات التيار الخفيف ".

الجزء الأول :

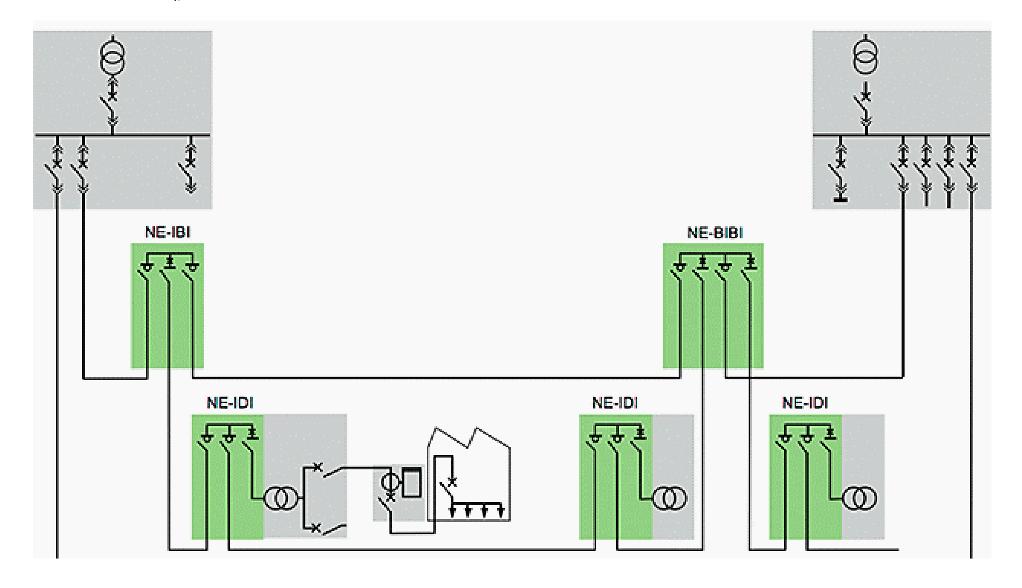
المجموعة الأولى: معدات القوى الرئيسية

2-1 المعدات في شبكات الجهد المتوسط

في هذا الفصل نتحدث عن أهم ثلاث معدات في شبكة الجهد المتوسط يلزم فهم أدوارها قبل الإجابة عن الأسئلة السابقة، وهي : المحولات، والموزعات، والـــ RMU. علما بأن بقية عناصر الشبكة يمكن القراءة بالتفصيل عنهم في الباب الرابع من كتابى هندسة القوى الكهربية (الفصل 18 و 19) ، ولا داع لتكرارها هنا.

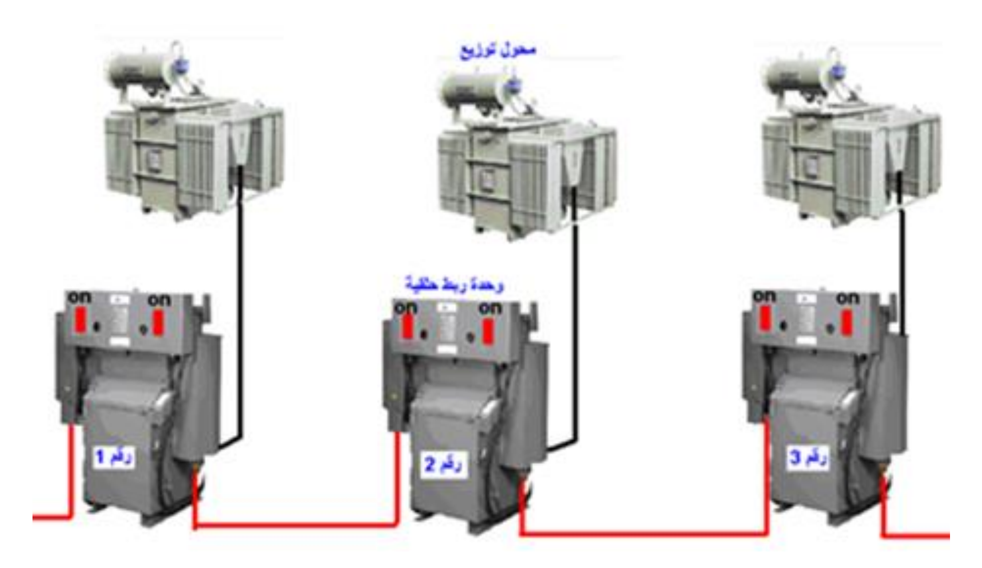
2-1-1 لوحات R.M.U

المحولات الموجودة داخل كل محطة فرعية Substation ترتبط بشبكة الجهد المتوسط الرئيسية من خلال لوحات تعرف بالـ Ring Main Unit، أو وحدة الربط الحلقية (المربعات الخضراء في شكل 2-1).



شكل 2-1

والـ Ring Main Unit، RMU مكونة من ثلاثة أقسام، يقوم القسم الأول منها باستلام الجهد الـ11kV القادم من لوحات التوزيع (الموزعات) أو من محطة سابقة لها، والقسم الثاني يقوم بتغذية المحول، أما القسم الثالث فيتصل بـ RMU أخرى لتغذية محول آخر كما فى شكل 2-2، ومن هنا أصبحت هى وسيلة التحكم في المحول من فصل وتشغيل، ولذا تقع دائما بجوار المحول مباشرة. وعادة تستخدم لوحة الـ RMU فى ربط المحولات ذات قدرة أقل من 5 MVA.

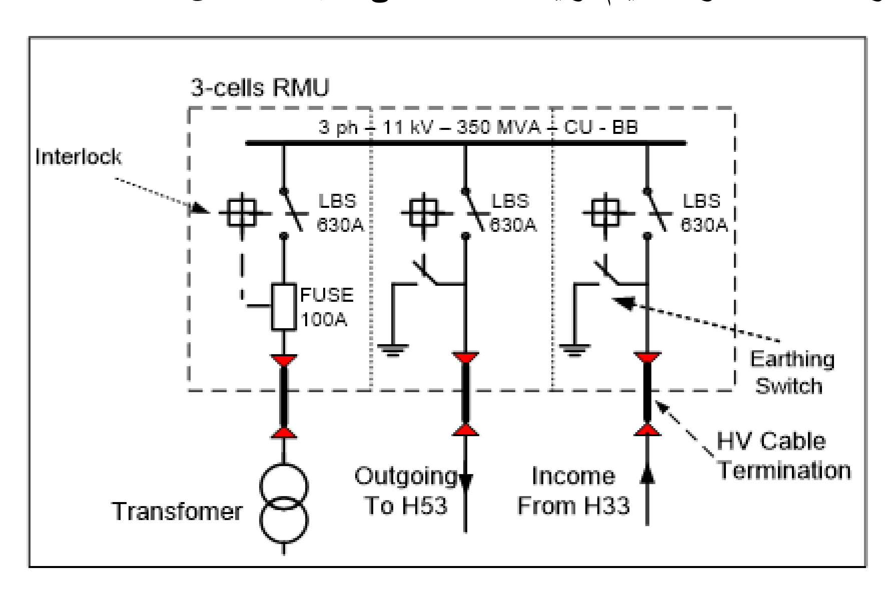


شكل 2-2

وعموما فإن لوحة الـ RMU بداخلها كما ذكرنا ثلاثة خلايا Cells -3 : إحدى هذه الخلايا بها كابل دخول قادم من محطة ثانوية أو فرعية تسمى هنا H33 في شكل 2-3، ، والخلية الثانية بها كابل خروج متجـــــــــه إلى محطة فرعيـــــــــة ثانية هي هنا H35 وكلهما مزود بـ Load Break Switch, LBS- 630A، وذات تيار قصر 25 كيلو أمبير عند جهد 12 كيلو فولت (يجدر الإشارة إلى أن هذا الجهد هو المناسب لجهد التشغيل 11 kV، وأيضا 24 لجهد التشغيل 22 kV) . أما الخلية الثالثة فتحتوى على الوقاية الخاصة بالمحول المغذى من هذه الـ RMU، وتحتوى على فيوز 100A لحماية المحولات قدرة 1000kVA كما فى شكل 2-3 (يستخدم فيوز 40 أمبير للمحول إذا كانت قدرة المحول 500kVA).

ويقتصر دور الـــــ Load Break Switch، LBS على فصل كابلات الدخول والخروج لإجراء عمليات الصيانة، وليس له دور فى حماية أو وقاية المحول من الأعطال والتى هى مسئولية الفيوز.

وتحتوى لوحة الـ RMU أيضا على خلية بها أطراف (روزيتة) توصل إلى أطراف محولات التيار ومحولات الجهد لزوم تركيب عدادات قياس الطاقة (Active Power and Reactive Power) وذلك للوحات التى تغذى محول قدرة 1000 kVA أو أكبر (بمعنى أن عدادات القياس توضع جهة الجهد المرتفع)، أما المحولات قدرة 500 kVA أو أقل فيتم تركيب العدادات على الجهد المنخفض.



شكل 2-3

وتحتوى لوحة الـــــ RMU أيضا على مفاتيح توصيل إلى الأرضى Earthing Switches وهو يستخدم لضــمان تسـريب أى شـحنات بعد فصــل اللوحة من الخدمة و قبل إجراء الصــيانة بداخلها، أى أنه يمثل عنصر أمان أثناء عمل فريق الصيانة. و تزود اللوحة كذلك بـ Interlock يوصل بين كل من LBS وبين الـــ Earthing Switch، لضمان ألا يكون الاثنان فى الوضع "Close " فى نفس الوقت حتى لا يحدث Short.

و يستخدم الفيوز على التوالى مع الـــــ LBS للحماية من تيارات القصر شديدة الارتفاع، وأحيانا يستخدم الفيوز مع CB مقنن على 400A (بدلا من الــ LBS) حيث أنه من المعلوم أن الفيوز دائما أسرع من الـ CB في فصل الأعطال شديدة الارتفاع.

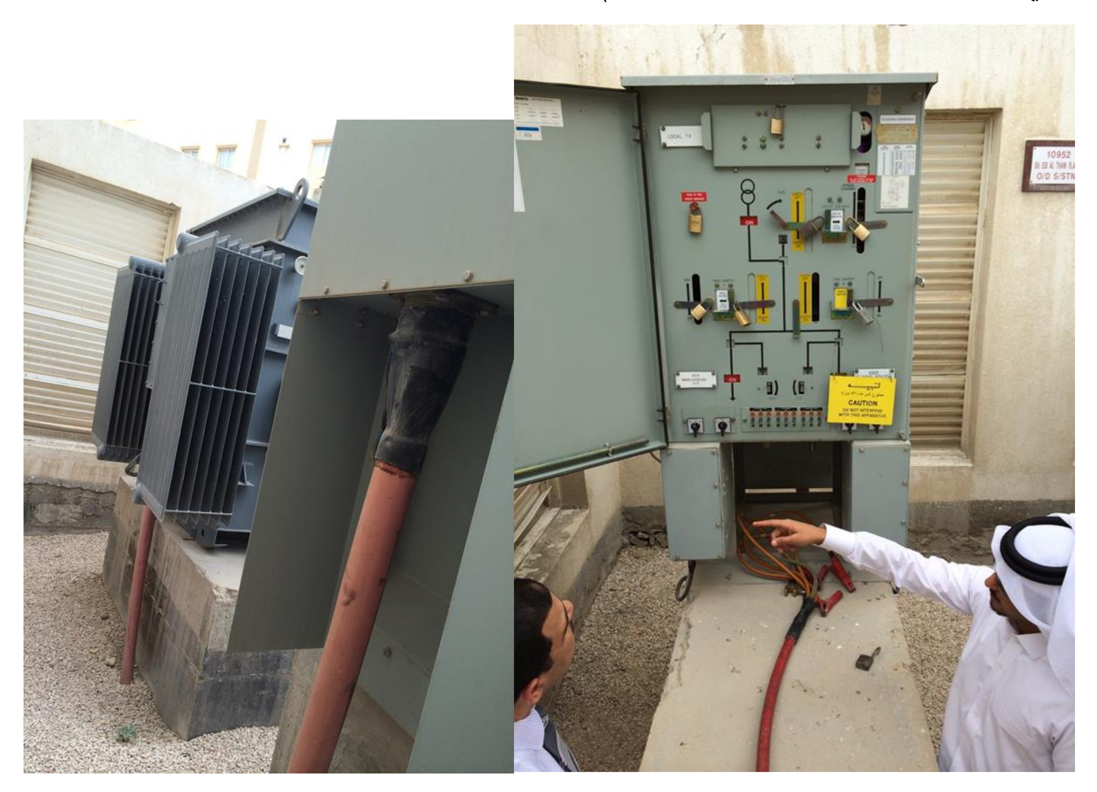
لاحظ أن الـــ Rated Current للـــ CB إذا استخدم (400A) سيكون أعلى بكثير من قيمة تيار الفيوز المستخدم فى حماية نفس المحول (100A) ، وذلك حتى لا يفصل الـــــ CB عند مرور تيارات الاندفاع المرتفعة (الــ Inrush Currents) ، والتى غالبا لا تؤثر فى الفيوز لأنه – و إن كانت تيارات الـInrush

مرتفعة القيمة – إلا أنها تمر لفترة وجيزة جدا، و يعود التيار بعدها بســـرعة لقيمته الطبيعية، و من ثم لا تحدث التأثير الحراري الكافي لفصل الفيوز.

وتزود اللوحة عادة بتجهيزات لدخول الكابلات للوحة (HV Cable Termination)، وتحتوى اللوحة أيضا على معدات تحكم وقياس. لاحظ أن التعبير بـــ HV هو تعبير عرفى شائع ولكنه غير دقيق، لأننا بالطبع نقصد به الـ Medium Voltage، MV.

وفى شكل 2-4 تجد نموذجا للوحة الـــــ RMU المستخدمة فى دولة قطر، فالصندوقين الخاصين بكابلى الدخول والخروج HV. Cable Termination يظهران فى يمين وشـمال الشـكل من أسـفل، بينما الكابل الثالث والمتجه للمحول يكون من خلف الـ RMU كما فى الصورة اليسرى.

(ملحوظة : الكابل الظاهر فى الصــورة اليمنى على الأرض هو الكابل الخاص بسـيارة فحص الكابلات ولا علاقة له باللوحة الأصلية، حيث التقطت الصورة أثناء قيام المؤلف (يسار الصورة) بتعريف الطلاب عمليا بطريقة فحص الكابلات وتحديد مكان العطل).

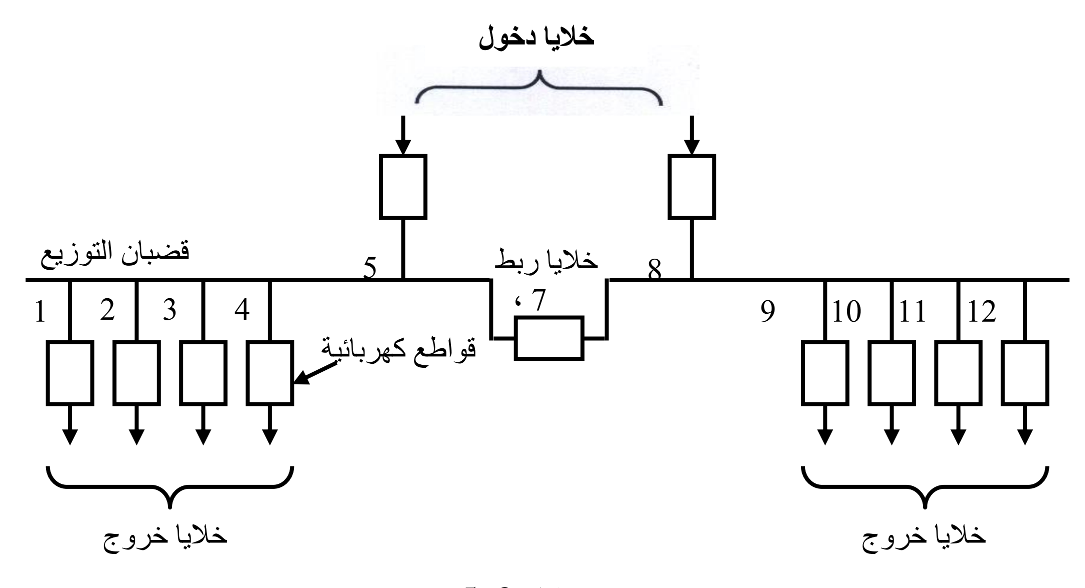


شكل 2-4

2-1-2 لوحات الجهد المتوسط (الموزعات)

في الشبكات العامة تكون المحولات متصلة معا في جهة الجهد المتوسط إما بطريقة Radial أو بطريقة Ring أو بخليط من الأسلوبين، لكن فى حالة المشروعات الكبيرة (كبار المستهلكين) تكون تغذية المشروع من خلال لوحة للجهد المتوسط خاصة بالمشروع تعرف بالموزع Distributor، ومتصلة مباشرة بمحطة التغذية الرئيسية بالمدينة (جهد 66/11 kV أو جهد 132/11) ، وحاليا في مصر يستخدم جهد 22kV لكل المدن الجديدة بدلا من 11 kV . ثم يتم من لوحة الموزع تغذية محولات المشروع كما سيتم تفصيله فى الجزء الأخير من الفصل الخامس عند الحديث عن تصميم شبكات التوزيع لكبار المستهلكين.

ويتكون الموزع من عدد من خلايا الدخول Incoming للتغذية (غالبا عددهم يكون اثنين أو أربعة) وعدد من خلايا الخروج Outgoing حسب حجم اللوحة لتغذية محولات التوزيع الخاصة بهذا المشروع كما فى شكل 2-5 الذى يوضح نظام ترتيب خلايا موزع به 12 خلية.



شكل 2-5

وتتميز هذه اللوحات بأن كافة المعدات بها تكون من فئة الجهد المتوسط (11 or 22 kV).

والمعدات الأخرى الموجودة في مباني الموزعات في الشبكات العمومية عرضتها تفصيليا في الفصل التاسع عشر من كتاب هندسة القوى الكهربية عند الحديث عن الشبكات العمومية، أما هنا فنتحدث عن موزعات في شبكات خاصة وليس شبكات عمومية، ولذا فالموزع هنا ليس أكثر من لوحة جهد متوسط كبيرة كما في شكل 2-6.

وفى الغالب يتم تغذية المشـروع من دائرتين two incoming feeders (في الغالب تكون كل واحدة منها قادمة من محطة توزيع ابتدائية مختلفة عن الأخرى لضـمان اسـتمرارية التغذية في حالة انقطاع التغذية من أحدهما).

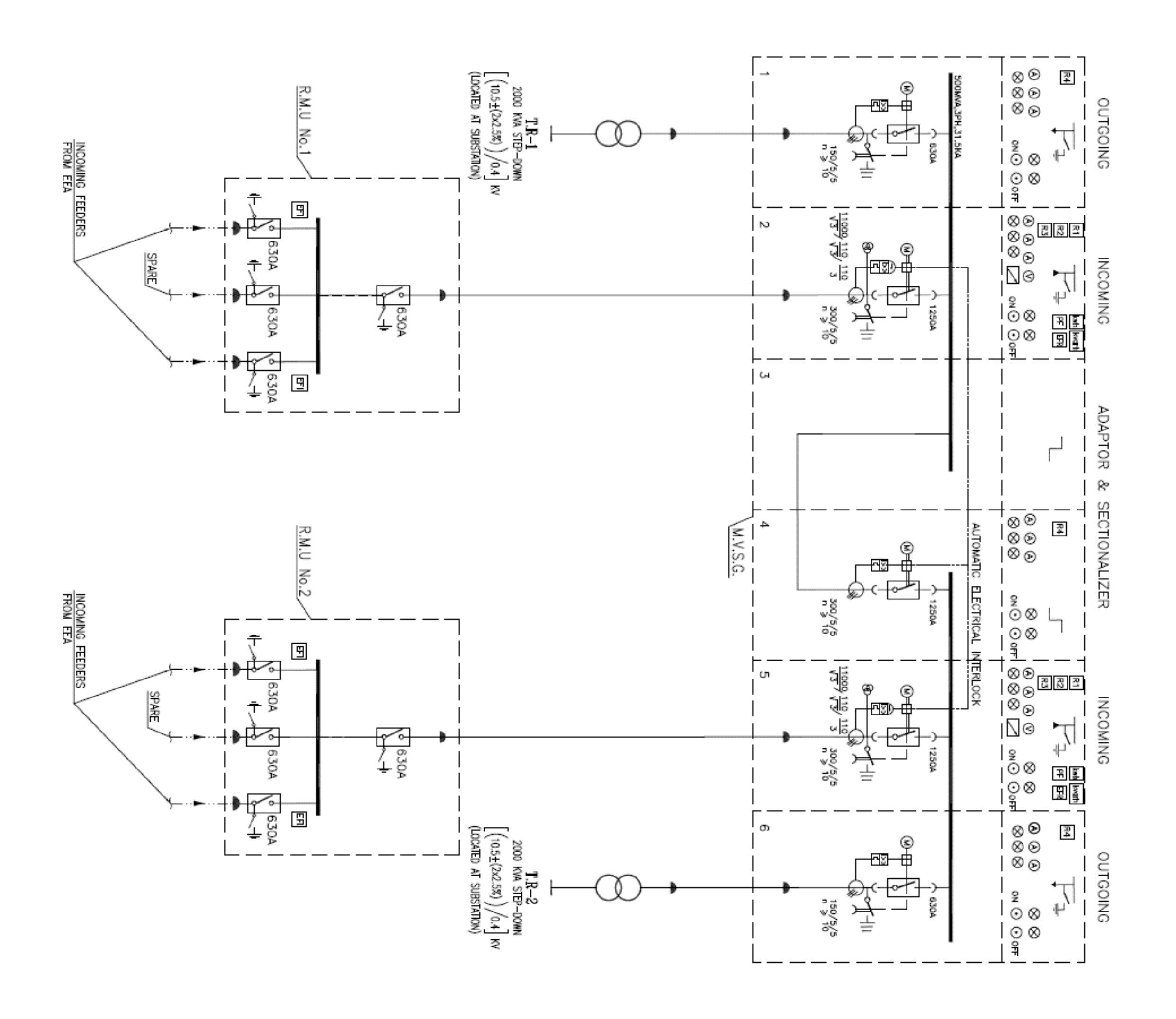


شكل 2-6

وأحيانا تكون كابلات الدخول على الموزع قادمة من لوحة RMU، وليس من الـ Substation مباشرة كما في شـكل 2-7 الذى تظهر فيه تفاصـيل لوحة جهد متوسـط (موزع) لمشـروع خاص مكونة من 6 خلايا فقط، حيث الخلية الثانية والخامسة تسمى خلايا دخول، وهما اللتان تستقبلان كابلى التغذية من الـ RMU. أما الخلية الأولى والسـادسـة فهما خلايا خروج، تغذيان اثنين من المحولات. و الخلية الثالثة خاصـة باستعدال الكابلات والرابعة خاصة بالـ Bus coupling. وكل خلية من الخلايا الستة (ماعدا الثالثة)

تحتوى على CB ومنظومة حماية كاملة. وبالطبع فكل خلية دخول قادرة من خلال الـــــ Bus Coupler على تغذية المحولين في أي وقت. وأحيانا تضاف خلية فى كل سيكشن خاصة بالـ earthing switch.

ويمكن مراجعة أساليب أخرى لتغذية المحولات بالجهد المتوسط في الفصل الخامس من هذا الكتاب.



شكل 2-7

2-2 محولات التوزيع

هو أهم جهاز فى الــ Distribution Station إذ يتم بواسطته تخفيض الجهد من (11 kV or 22 kV) إلى (400V) تمهيدا لتوزيع الطاقة على المستهلكين. وعادة يتم توصيف المحول بناء على عدة عناصر، من أهمها:

1- **قدرة المحول** Rating مقاسة بالـ MVA، وعادة تسمى المحولات ذات قدرة أقل من 5MVA بمحولات التوزيع Distribution Transformer، وهى التى نتعامل معها فى منظومة التمديدات، أما المحولات الأكبر من ذلك فهى محولات لنقل القدرة بين محطات التوليد ومحطات التحويل الرئيسية فى الشبكة الكهربية العامة للدولة (Power Transformers) ، والفرق بينهما في الحجم فقط.

2- **طريقة الــ Earthing الخاص بنقطة التعادل**، وعادة تكون نقطة الــتعادل Neutral إما موصلة توصيلا مباشرا بالأرض Solidly Earthed، أو من خلال مقاومة صغيرة فى حدود 10Ω، ويكون الغرض من هذه المقاومة إن وجدت هو خفض مستويات تيارات القصر Short Circuits Current.

3- **قيمة الــ Percentage Impedance الخاصة بالمحول X% أو Z%**، وتعرف بالمعاوقة، وهذه القيمة لها أهمية كبيرة فى حسابات Short Circuit التى سندرسها تفصيلا فى الفصل الرابع، لكننا نشير هنا فقط إلى أن تيار القصر المار عند حدوث عطل فى أى نقطة فى شبكة التمديدات (الجهد المنخفض) سيتأثر بدرجة كبيرة بإجمالي الـــ Impedance، Z التى يلاقيها من لحظة خروجه من مصدر التغذية وحتى نقطة العطل. وتعتبر قيمة Z% الخاصة بالمحول واحدة من القيم المؤثرة جدا فى هذه الحسابات. لاحظ أن قيمة تيار القصر الناتج من هذه الحسابات ستتوقف عليه قيمة الـــ Short Circuit Capacity SCC لكافة العناصر المستخدمة فى منظومة التركيبات والتي تتغذى من المحول (الكابلات، القواطع، لوحات التوزيع إلخ)، و أسعار هذه العناصر تتوقف أساسا على قيمة الـ SCC.

4- **طريقة توصيل الملفات** ويتم توصيف المحولات أيضا بناء على طريقة توصيل ملفات المحول الابتدائية و الثانوية Primary & Secondary Windings، والتى توصل فى الغالب إما على شكل دلتا/ستار، أو ستار /دلتا، أو دلتا / دلتا، إلخ. ولكل توصيلة من هذه التوصيلات مميزات وعيوب، و تتمحور جميع هذه المميزات والعيوب حول كفاءة كل توصيلة فى واحد من السمات التالية:

1. منع ظهور الـ Third Harmonic أو Zero Sequence Current.
2. مدى تحملها للإجهادات الكهربية والميكانيكية الناشئة عن المجالات الكهربية.
3. مدى الحاجة إلى توصيل المحولات على التوازى أم لا.
4. اقتصاديات التصنيع (عدد اللفات وشدة العزل المطلوبة).
5. مدى ثبات جهد نقطة التعادل.
6. مدى الحاجة إلى وجود نقطة تعادل من عدمه (هل توجد أحمال Single Phase مثلا). إلى آخر هذه المتغيرات التى تقع تفاصيلها خارج نطاق هذا الكتاب ويمكن قراءة المزيد عنها في كتابى المرجع في محولات القوى الكهربية.

5- **معامل الـــ K-Factor** ظهرت أهمية هذا المعامل مع تزايد نوعية الأحمال التى بها أجهزة إلكترونية والتى تستخدم Hi Speed-Power Electronic Switches، وكذلك مع تزايد استخدام لمبات التفريغ الكهربى Discharge Lamp، فكل هذه الأحمال تصنف على أنها أحمال غير خطية Non-Linear loads ويعنى ذلك أنها لا تخضع لقانون أوم المشهور، بمعنى آخر أن مقاومة هذه الأجهزة غير ثابتة بل تتغير مع تغير الجهد والتيار، ومن ثم فاحتمال وجود الـ Harmonics المسببة لارتفاع درجة حرارة المحول يكون كبيرا. ومن ثم ظهرت الحاجة لوجود نوعية من المحولات لها تصميم خاص للتعامل مع النسبة العالية لوجود الأحمال الغير خطية. على سبيل المثال فالـــ K-4 Transformers تستخدم إذا كانت نسبة الأحمال الغير خطية تصل إلى 50%، وعادة تستخدم هذه النوعية من المحولات فى تغذية المباني الإدارية التى تكثر بها هذه النوعية من الأحمال.

6- **طريقة تبريد المحول** (زيت، هواء، مراوح، إلخ)، وتعتبر عملية التبريد أمرا ضروريا حيث أنه كلما ازدادت كفاءة التبريد كلما ارتفعت كفاءة المحول وازداد عمر المكونات الداخلة فى تركيبه، بل وازدادت الـ Power التى يمكن أن نحصل عليها من هذا المحول.

وعادة يحدد المصنع طريقة تبريد المحول باستخدام أربع حروف، يرمز الحرفان الأولان إلى الموائع المستخدمة في تبريد الملفات داخل المحول، ووسيلة دفع هذه الموائع، و يرمز الحرفان الآخران إلى الموائع المستخدمة لتبريد جسم المحول من الخارج، ووسيلة دفع هذه الموائع، و يحتوي الجدول (1-2) علي الرموز المستخدمة في هذا النظام، على سبيل المثال فإن طريقة التبريد "ONAN " يقصد

بها أن لدينا محول زيتي (يبرد داخلياً بسـريان الزيت سـرياناً طبيعياً ويبرد الجسـم من الخارج بسـريان الهواء حوله سرياناً طبيعياً أيضا).

جدول 2-1 : جدول توضيحي للحروف المستخدمة في هذا النظام

المائع المبرد	الرمز	سريان المائع	الرمز
زيت معدني أو زيت اصـــطناعي درجة حرارة اشتعاله $\geq 300^\circ$ م Oil	O	طبيعي Nature	N
زيوت اصطناعية أخرى Liquid	L	(دفع بمضخات) Forced	F
غاز درجة حرارة اشتعاله $\geq 300^\circ$ م Gas	G		
هواء Air	A		
ماء Water	W		

والمحولات المستخدمة مع التركيبات الكهربية عادة تكون:

- إما محولات جافة Dry Transformers، وهذه تستخدم داخل المباني السكنية والتجارية.
- أو محولات مغمورة فى الزيت، وقد أصـــبح هذا النوع أقل اســـتخداما داخل المباني الســـكنية أو التجارية، وإذا وجد فهناك اشـتراطات أمان عالية يجب إتباعها اذا اسـتخدم فى مبنى سـكنى ولكنها تعتبر الأكثر انتشارا فى الشبكات العامة بالشوارع.

في شكل 2-8 على اليمين محول زيتى قدرة 2MVA، وعلى اليسار محول آخر من النـــــــــــــــوع الجـــــاف Dry Transformer.



شكل 2-8

7- **الزيت المســـتخدم**، يســـتخرج الزيت المعدنى Mineral oil المســـتخدم فى المحولات من البترول ثم يضـــاف إليه مادة مانعة للأكســـدة. ويعتمد أداء المحول إلى درجة كبيرة على خواص الزيت الفيزيائية والكيميائية والكهربية. ويجب أن يخضـــع زيت المحولات لعدة اختبارات تحددها المواصـــفات العالمية. ومن أهم هذه الاختبارات اختبار درجة اللزوجة، واختبار نســـبة الماء فى الزيت، واختبار شـــدة العزل الكهربى، واختبار معدلات تزايد درجة الحرارة، إلخ.

8- **مستويات الصوت**، وهذا أيضا عنصر مهم عند توصيف المحولات خاصة تلك التى ستوضع داخل المباني السكنية، حيث يجب مراعاة أن تكون نسبة الضوضاء الصادرة منها فى مستويات منخفضة، ويفضل أن تكون أقل من 65 dB (مستوى الصوت العادى للإنسان يتراوح بين 40 – 50 dB) . ونشير هنا إلى أن المحولات تصدر منها عادة أصوتا تشبه الأزيز، وسبب هذا الصوت هو المجال المغناطيســـي المتردد داخل المحول والذى يتســـبب فى نوع من الحركة البســـيطة جدا لشـــرائح الحديد بســـبب تغير المجال المغناطيســـي والتى ينتج عنها هذا الصـــوت. لذلك يوضـــع المحول داخل enclosure لتقليل مستويات الصوت، بالإضافة إلى زيادة درجة الحماية.

2-2-1 قراءة لوحة الـ Nameplate للمحول

من أهم المهارات التى يجب أن يتحلى بها مهندس التركيبات أن يكون بارعا فى فهم معانى كافة الرموز التى تظهر على لوحة بيانات الأجهزة عموما، ومنها بالطبع لوحة بيانات المحول والتى يظهر نموذج لها فى شـــكل 2-9.

شكل 2-9

ويمكن الرجوع إلى كتابى المرجع فى المحولات الكهربية لفهم كافة هذه الرموز. لكن اختصـــارا، يمكن من قراءة اللوحة السابقة الوصول بسهولة للمعلومات المكتوبة فى المقطع التالى:

هذا المحول قدرة 200kVA ثلاثى الأوجه 3-phase، يعمل على تردد 50Hz، وبجهد 11000/415، موصـــل بطريقة Dyn11، وهذا الرموز يعنى أن الجهد العالي له موصـــل دلتا D، ، والجهد المنخفض موصل ستار y، ونقطة الـ (n) Neutral ظاهرة ومتـــاحة، وهناك phase shift بين جهد الابتدائي وجهد الثانوى قدره 330 درجة (11×30) . والمحول معزول بالزيت ويحتوى على 267 لتر (والأوزان أيضا ظاهرة باللوحة). والمحول يتضمن Tap Changer له خمس خطوات يمكن من خلالهم تغيير جهد

الابتدائي من 11275 فولت إلى 10175 فولت حسب اختيارك لموضع الـــــ Switch. والمحول تبريده بنظام ONAN، وله Z%=4.2% .

2-2-2 معرفة قدرة المحول

البيانات الهامة الخاصة بالمحول يمكن الحصول عليها من لوحة البيانات المثبتة على جسم المحول كما في الجزء الســابق. وفى حالة فقد هذه اللوحة يمكن تحديد على الأقل قدرة المحول من رقم موجود ومحفور على جسم المحول بين عوازل الجهد العالي والمنخفض. والمثال 2-1 يشـرح كيفية اسـتنتاج البيانات من هذه الأرقام:

مثال 2-1:

وجد الرقم:925554 محفورا على جسم محول. حدد ما يمكن استنباطه من هذا الرقم.

الحل:

- الرقمين الأول والثاني من اليسار دائما يعبران عن سنة تصنيع المحول فـ "92" هنا تعنى 1992، و "75" فى مثال آخر تعنى 1975، و"02" تعنى 2002، وهكذا).
- أما الرقم الثالث من الشمال، فهو أهم رقم، لأنه يبين قدرة المحول، ويقرأ على النحو التالى:

1 يعنى محول ذو قدرة تساوى 50 KVA
2 يعنى محول ذو قدرة تساوى 100 KVA
3 يعنى محول ذو قدرة تساوى 200 KVA
4 يعنى محول ذو قدرة تساوى 300 KVA
5 يعنى محول ذو قدرة تساوى 500 KVA
6 يعنى محول ذو قدرة تساوى 800KVA
7 يعنى محول ذو قدرة تساوى 1000 KVA
8 يعنى محول ذو قدرة تساوى 1500 KVA

وأخيرا، فالرقم الأول والثاني والثالث من اليمين فيعبروا معا عن الـــــ Serial Numberالخاص بخط الإنتاج بالمصـــنع. وعلى هذا فالرقم المذكور بالمثال يعبر عن محول بقدرة 500 kVA مصـــنوع ســنة 1992.

ولمزيد من التفاصـــيل حول المحولات الكهربية يمكن الرجوع لكتابى "المرجع فى محولات القوى الكهربية"" وهو أيضا متاح كوقف لله على شبكة النت. أيضا يمكن الرجوع لكتابى الرابع : هندسة القوى الكهربية" وفيه عدة فصول عن شبكات التوزيع وتفصيلاتها.

3-2 مولدات الطوارئ

يمكن تقســـيم الأحمال فى أى مبنى إلى نوعين : أحمال عادية وأحمال مهمة (أحمال الطوارئ)، والفرق الأسـاسـي بينهما أن الأحمال المهمة هى التى لا يجب أن ينقطع عنها التيار. ويتم تجميع هذه النوعية من الأحمال فى لوحات منفصـــلة تســـمى لوحات الطوارئ Emergency DBs، هذه اللوحات يتم تغذيتها بواسطة مولدات الطوارئ المعروفة بمولد الديزل عند انقطاع المصدر الأساسي للتغذية والتى يظهر أحدها فى شكل 2-10.

وكما يبدو فى الشـــكل فمولد الديزل يتكون من جزئين الأول (على اليســـار) هو محرك الديزل، والثاني هو المولد الكهربى.



شكل 2-10

وعموما فإنه عند توفير مصدر بديل للطاقة في حالة الطوارئ يجب مراعاة البعد الاقتصادي وذلك بحساب مقدار الخسائر والأضرار والخطورة الناتجة عن فقد مصدر التيار، وفى نفس الوقت تقدير اقتصاديات الوسائل البديلة للتغذية من الشبكة العامة والتى تتراوح بين:

1- الاتفاق مع شركة التوزيع بالمنطقة على تأمين تغذية المبنى من مصدرين منفصلين بتكاليف إضافية بحيث تظل تغذية المبنى مؤمنة فى حالة فصل أو عطل أحدهم.

2- استخدام بطاريات (منفصلة أو مركزية) لتأمين إنارة الطوارئ فقط.

3- استخدام مولد للطوارئ لتأمين تغذية عدد من الأحمال الهامة بالمبنى. ويتم نقل الأحمال في هذه الحالة إلى المولد بإحدى طريقتين :

إما يدويا بواسطة بالـ MTS Manual Transfer Switch، أو أوتوماتيكيا بواسطة الـ ATS Automatic Transfer Switch ،.

<u>ملاحظة هامة:</u> عند توصيل مولد الطوارئ على اللوحة الرئيسية يتم فصل الـ Capacitor Bank إن وجد عن طريق الـ Shunt Trip حتى لا يتسبب فى ارتفاع الجهد على أطراف المولد.

وقد لا يكون هناك أحمالا هامة فى المنازل العادية تستلزم تخصيص مولد طوارئ لها، لكن يجب على الأقل فى هذه الحالة أن نستخدم اللمبات ذات البطارية التى تضيء أوتوماتيكيا بمجرد انقطاع التيار فى المداخل والسلالم لضمان سهولة الحركة عند انقطاع التيار.

و بصفة عامة تكون نسبة أحمال الطوارئ فى المباني الإدارية والأبراج السكنية فى حدود 10-20%، حيث تغطى على الأقل إنارة الطرقات، ومراوح سحب الدخان من ممرات وسلالم الهروب، وأنظمة إنذار الحريق وأنظمة التليفونات والإذاعة الداخلية بالمبنى وثلاجات المطابخ، ومعدات ضخ وصرف المياه وربما يضاف أحد المصاعد (مصعد رجال الإطفاء)، بينما تصل هذه النسبة فى المستشفيات إلى حوالى 50% من إجمالي الأحمال لكثرة الأحمال المرتبطة بحياة المرضى.

مع ملاحظة أنه عند حساب القدرة اللازمة لمولد الطوارئ فى مبنى معين فإننا لا نطبق على الأحمال السابقة أى معاملات لتباعد الأحمال (No Diversity Factors) .

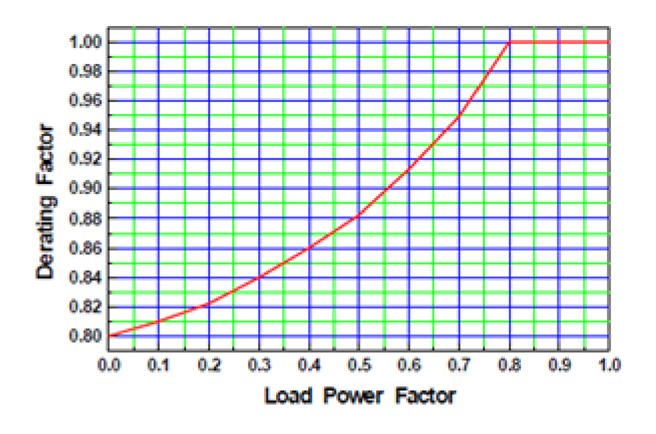
يلاحظ أيضا أن الأحمال ذات المحركات لها حساباتها واعتباراتها الخاصة، ويمثل الجزء التالى نموذجا لحسابات حجم المولد الذى يغذى أحمالا تحتوى على محركات.

2-3-1 تقدير قدرة مولد الطوارئ المناسب لتغذية محركات

هناك عدة نقاط لابد من أخذها فى الاعتبار قبل تحديد الحجم المناســب لمولد الطوارئ المســتخدم فى أى مشـروع، فالبعض يظن أن أحمال الطوارئ مثلا إذا كان مجموعها 100 kW فإن اختيار مولد بقدرة 120 kW مثلا سيكون مناسبا، وهذا التفكير البسيط بالطبع يمكن أن يسبب مشاكل عديدة لهذا المولد لأنه أغفل الاعتبارات التالية:

1- لابد أن يكون مولد الطوارئ قادرا على تغذية الأحمال حال البدء Starting، فمعلوم أن المحركات تسحب تيارا عاليا أثناء البدء Starting Current فما لم يكن المولد قادرا أيضا على توليد هذا التيار المرتفع فلن يكون مناســبا حتى لو كانت قدرة المولد G-running kW أكبر من قدرة الموتور M-Running kW.

2- تكون قدرة المولد غالبا محسوبة على افتراض أن معامل قدرة (Load power factor) يساوى 0.8، فإذا كان الـــــ PF أقل من ذلك فلابد من عمل De-rating للمولد بحيث يتم زيادة قدرته (بالقسمة على معامل تحسين أقل من الواحد الصحيح) لتعويض النقص فى معامل قدرة الأحمال. وغالبا يكون ضمن الـــ Data sheet للمولد منحنى يعطى قيمة هذا المعامل كما فى شكل 2-11. فعلى سبيل المثال، إذا كان مثلا معامل القدرة للأحمال يساوى 0.5 فيجب أن تزيد قدرة المولد بمقدار 1/0.88.



شكل 2-11

3- وبالمثل، هناك منحنيات لحساب معامل تصحيح درجة الحرارة، فكلما ارتفعت درجة الحرارة عن الدرجة التى صـــمم المولد عليها كلما احتاجنا إلى تقليل الحمل على المولد (إذا كان المولد قد تم شـــراؤه بالفعل)، أو زيادة القدرة التصميمة (إذا كنا لازلنا فى مرحلة الاختيار والتصميم)، وتكون الزيادة حسب

درجة الحرارة (بالقسمة على الـ Factor الذى نحصل عليه من المنحنى الموجـ..............ود في شكل 2-12.

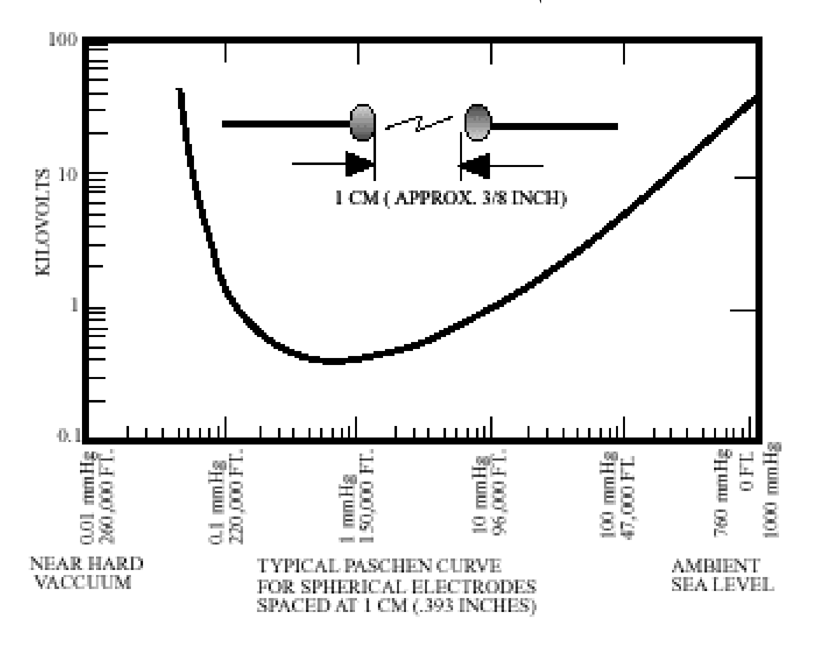
4- وهناك منحى ثالث لتأثير الارتفاع عن ســـطح البحر، وذلك حتى نأخذ فى الاعتبار النقص فى كمية الأكسجين اللازم للاحتراق إذا وضـع المولد على ارتفاعات عالية، وكذلك بسبب انخفاض عزل الهواء كلما ارتفعنا إلى أعلى.

ملحوظة:

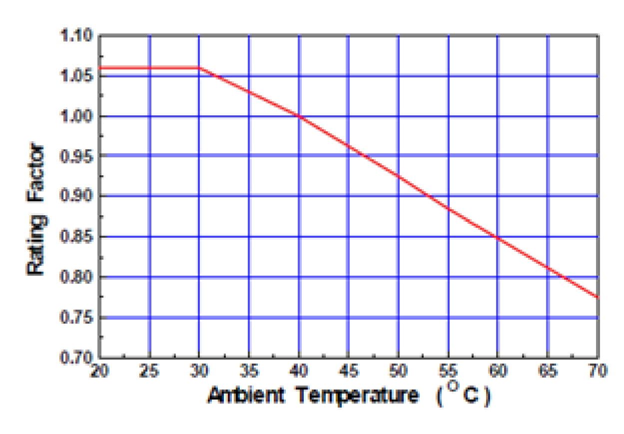
كلما ارتفعت عن سطح البحر تقل كثافة الهواء وهذا يعنى أن الذرات المتأينة بالجهد ستجد طريقها أكثر سهولة فى حركتها لأنها لا تجد ذرات هواء كثيرة تصطدم بها كما فى الوضع العادى، ولذا يكون انهيار العزل الهوائى أسرع كلما ارتفعت عن البحر. أما نسب التخفيض فهذه تعود لمسافة الارتفاع ونسبة التلوث . والمعادلات المستخدمة فى ذلك تجدها فى بحث منشور هنا

High-Altitude Considerations for Electrical Power Systems and Components - IEEE Journals & Magazine

والشكل التالى يوضح أن جهد الانهيار يتناقص حتى ارتفاع معين ثم يزيد بعد ذلك، لكن هذه الزيادة تبدأ على ارتفاعات عالية جدا فوق الـ 50 كم.



5- أيضا من الاعتبارات الهامة فى اختيار قدرة المولد، حساب مدى التزامن فى تشغيل الأحمال (خاصة المحركات)، فبالطبع يجب أن يكون المولد قادرا على تغذية كافة الأحمال التى تعمل متزامنة Simultaneously، ولكن قد نحتاج فقط لدائرة تحكم بسيطة تمنع بدء تشغيل المحركات بصورة متزامنة حتى نقلل تيار البدء الكلى مالم يكن التشغيل المتزامن جزءا أصيلا من تشغيل المنظومة، وهذا نادرا ما يحدث.



شكل 2-12

6- إذا أمكن حل مشكلة تزامن البدء للمحركات، فعندئذ يمكن اختيار المولد بحيث يكون قادرا على تغذية تيار يساوى أعلى تيار البدء Highest starting current لأكبر المحركات بالمنظومة مضافا إليه مجموع التيارات الطبيعية Rated current لبقية المحركات التى تعمل متزامنة طبقا للمعادلة 2-1 :

$$I_{Gen} = I_{highest\ start\ current} + \sum I_{rated} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 2-1$$

يمكن أيضا التغلب على مشكلة تيار البدء المرتفع بالبحث فى طرق تقليل هذا التيار من قبيل استخدام Delta/Star Switch إذا كانت توصيلة المحرك تسمح بذلك، أو شراء واستخدام أجهزة الـ Soft starting، وبالطبع ستحتاج لدراسة اقتصادية لتحديد الجدوى الاقتصادية لشرائها.

2-3-2 خطوات اختيار القدرة المناسبة للمولد

مع أخذ النقاط السابقة فى الاعتبار، يمكن تبسيط خطوات اختيار القدرة المناسبة لمولد الطوارئ فيما يلى:

1- احسب القيم التالية لكل حمل على حدة (R-for running & S for Starting) :

- Running kilowatts (RkW) ،
- Running kilovolt-amperes (RkVA)

- Starting kilovolt-amperes (SkVA)
- Starting kilowatts (SkW)
- Running motor power factor (PF)
- Starting motor PF

2- احسب مجموع RkW، RkVA، SkW، SkVA and لكافة الأحمال.

3- اختر من كتالوج الشركة المنتجة للمولد الحجم المناسب الذى يكون قادرا على توليد القيم السابقة، مع ملاحظة أن المولد القادر على تغذية 100 أمبير مثلا بصورة مستمرة سيكون قادرا على تغذية ربما 130 أو 140 أمبير عند البدء، لكن تحديد الرقم لا يتم إلا من خلال كتالوج الشركة أو بمراسلة فريق الدعم الفنى للشركة المصنعة للمولد.

مثال 2-2:

احسب القدرة المناسبة لمولد مطلوب لتغذية الأحمال التالية:

- **Two 200 HP motors، Code G، 92% running efficiency، 0.25 starting PF، 0.91 running PF.**
- **Total 100kVA of fluorescent lighting، starting PF of 0.95، and running PF of 0.95**

الحل:

الخطوة الأولى :

هى حساب RkW، RkVA، SkW، SkVA لكل حمل على حدة

لاحظ أن قيمة الـ Starting kVA تحسب من خلال ما يعرف Code G (راجع شرح هذا الكود وقيمته التي تساوى هنا 5.9 kVA/HP في الفصل الرابع عند شرح مفردات الـ Name Plate للمحركات)

For the 200 HP motor:

- RkW = (200 hp × 0.746 kW/hp) ÷ 0.92 = 162.2kW

- RkVA = 162.2kW ÷ 0.91 RPF = 178.2kVA
- SkVA = 200 hp × 5.9 kVA/hp = 1180kVA
- SkW = 1180kVA × 0.25 SPF = 295kW

For the Florescent Lighting:

- RkW = 100kVA × 0.95 PF = 95kW
- RkVA = 100kVA
- SkVA = 100kVA
- SkW = 100kVA × 0.95 PF = 95kW

الخطوة الثانية :

هى جمع أحمال كل وحدة من وحدات القدرة كما يلى:

Load	RkW	RkVA	SkW	SkVA
200hp Motor	162.2 |	178.2 |	295 |	1180
200hp Motor	162.2 |	178.2 |	295 |	1180
Lighting	95	100	95	100
Totals	420	457	685	2460

الخطوة الثالثة :

هى الرجوع لكتالوج إحدى شركات تصنيع المولدات للبحث عن مولد قادر على تغذية 457kVA على الأقل بصورة متصلة وفى نفس الوقت قادر على أن يعطى 2460kVA على الأقل عند البدء.

وبالرجوع لكتالوج شركة كتربلر مثلا ستجد أن لديهم مولد بقدرة (938kVA) 750kW، ومقنن على 2944 kVA عند البدء، وبالتالى فهو قادر على تحقيق كافة المتطلبات.

يجب مراعاة أن الأحمال التى تغذى عن طريق المولد لابد من ترتيبها فى steps لتقليل قدرة المولد المطلوبة خصوصا فى المشاريع الكبيرة، وتكون الأولوية فى دخول الـ steps طبقا للكود فالأحمال مثل الـ life safety لابد من دخولها أولا.

لاحظ أنه من الخطأ اختيار قدرة المولد بمجرد أن تكون مرة وربع، أو حتى مرة ونصـــف أعلى من قدرة الأحمال المراد تغذيتها، فهذا خطأ شائع لأنه يهمل تيار البدء. في المثال السابق مثلا زادت لقدرة المولد أعلى من ضعف قدرة الأحمال حتى أصبحت مناسبة.

تجدر الإشـــارة إلى أن من أشـــهر البرامج التى تســتخدم فى حســـابات المولدات برنامج Cummins power suite، وبرنامج Caterpillar Spec sizer.

2-3 -3 الفرق بين محركات الديزل ومحركات البنزين

مولدات الطوارئ تدور بواسـطة محركات الديزل، وهو نوع من آلات الاحتراق الداخلى مثل محرك السـيارة، إلا أن المحركات التى تعمل بالديزل تختلف عن مثيلتها التى تعمل بالبنزين فى عدة فروق منها :

1. أنها – محركات الديزل – لا تشـتمل على شـمعات احتراق spark plugs (البوجيهات) كما فى محركات البنزين بل يشتعل الوقود بالضغط.
2. وهى تعطى قوة أكبر من محركات البنزين لكن سرعة أقل. وبالطبع ستلاحظ أن السيارات الملاكى كلها بنزين بينما سيارات النقل معظمها ديزل.
3. ومحرك الديزل أثقل من محرك البنزين و ذلك لأن الضـــغوط داخله أكبر مما يؤدى إلى الحاجة لمواد أثقل تتحمل هذا الضغط.
4. وتتكون الشـــحنـة فى محرك البنزين من الهواء و الوقود معا يتم خلطهم عن طريق الكربيراتير Carburetor، و بعد ذلك يدخلا الـــــــــــ Cylinder أو غرفة الاحتراق معا، أما بالنســبة لمحرك الديزل فيدخل الهواء، و يدخل الديزل تحت ضغط هائل عن طريق الرشاش.
5. كفاءة محركات الديزل اعلى بنسبة 25% على الأقل مقارنة بمحركات البنزين.
6. لكن هناك مشـــكلة في الديزل وهى إنه يجب عدم تجاهل مقياس كمية الوقود في الخزان، لأنه في حال نفاذ الوقود في الخزان فإنه يجب عمل إفراغ للهواء من الدائرة أولا وهذه مشــــكلة كبيرة يجب تجنبها.

وهناك مواصـفات خاصــة فى كل كود لمولدات الديزل لكل من نظام العادم Exhaust System، والقواعد الخرسـانية، ونظم التبريد والتهوية، ونظام الوقود إلخ. ينص الكود المصـرى على سـبيل المثال على بعض المواصفات الخاصة بغرفة الماكينات منها:

i. يجب ترك مسافة لا تقل عن 1.00 متر من الأجناب وخلف مولد الطوارئ.

ii. تكون مساحة مخرج الهواء مساوية على الأقل لمساحة سطح الردياتير Radiator.

iii. تكون مساحة مأخذ الهواء In–take مساوية لضعف مساحة Out–take (Exhaust) تقريباً.

iv. يراعى نسبة المساحة الفعالة لمأخذ أو مخرج الهواء فى حالة تغطية هذه المساحات بسلك شبك أو فلاتر.

v. عند تحديد أبعاد الغرفة يجب الأخذ فى الاعتبار أن اســـتخدام خزان وقود مثبت فى قاعدة الماكينة يؤدى إلى زيادة ارتفاع الغرفة.

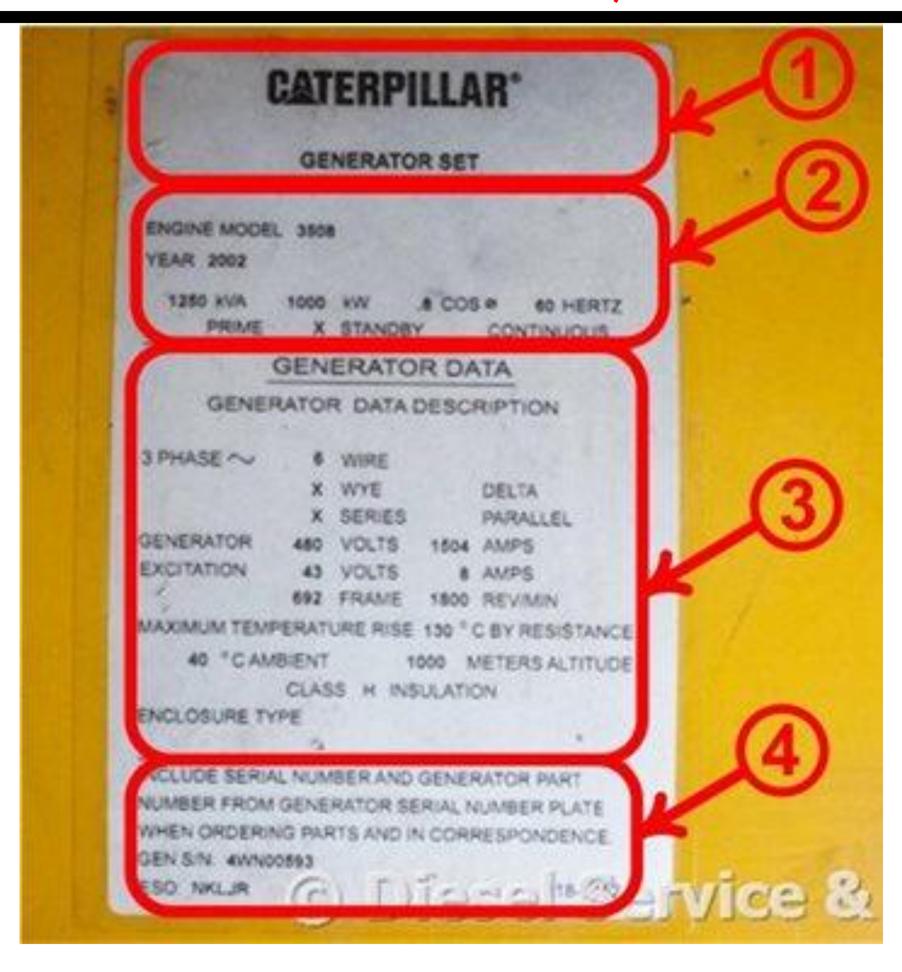
vi. يوضـع المولد في وسـط الغرفة تماما. وتكون مسـاحة الغرفة بقدر المسـاحة التي يشـغلها المولد (4 – 5) مرات

vii. توضــع لوحة التوزيع في غرفة جانبية صــغيرة ملاصــقة لغرفة المولد و تبعد لوحة التوزيع عن المولد بمسافة لا تقل عن 3 متر.

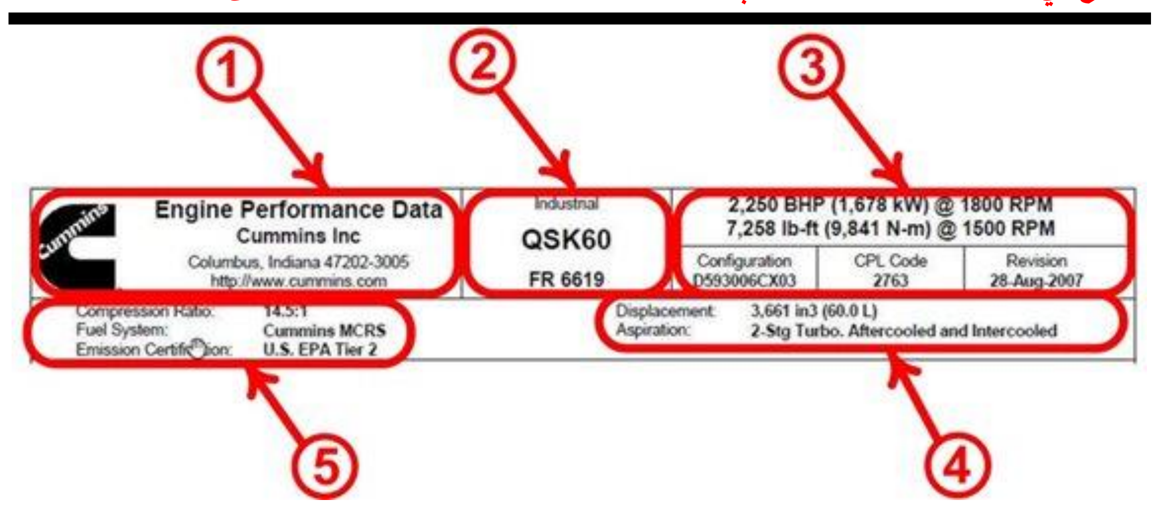
viii. يوضـع خزان الوقود خارج غرفة المولد. ويحذر من وضعه داخلها.

قراءة الـ Nameplate لمولد الديزل

بالطبع سيكون لدينا أكثر من لوحة بيانات، فلدينا محرك الديزل ولدينا المولد الكهربي المتصل به.



1. Manufacturer and Description – Caterpillar Generator Set
2. Generator Specification as follows:
   - Engine Model is 3508 manufactured in 2002.
   - 1250 KVA, 1000 kW (output power) 0.8 power factor at 60 Hz.
   - Rated for standby use.
3. Generator data as follows:
   - 3 Phase 6 wire generator that can be wired in Delta (wye) or Parallel (series) configurations by technicians.
   - Generator supplies 480 VAC with 1504 amps capability
   - Require 43 VAC at 8 amps to excite the filed.
   - 1800 rpm minimum required.
   - Maximum operating temperature 266°F (130°C) with an ambient temperature of 104°F (40°C).
   - Has class H insulation in windings and can be operated at 3280 ft (1000 m).
4. Generator serial number for ordering parts.



1. Manufacturer Identification – Supplies Company headquarters location and contact information.
2. Engine Identifier – The engine is a QSK60 Industrial series engine.
3. Engine Specifications – Separated into the following areas:
   - 2250 Brake Horsepower (BHP) and converts to (1678 kW) at 1800 RPM. BHP is the available power of engine assed by measuring the force needed to brake the engine.
   - 7258 lb-ft of torque. This can be defined as the twisting turning force that is required to move one pound the distance of one foot around an axis at a radius of one foot (How twisting force of an engine is measured).
   - Configuration number supplies internal information on how the engine was assembled.
   - Control Parts List (CPL) is internal reference number for the replacement parts of the engine.
   - Revision – Date of the software and engine electronics associated with the engine.
4. Engine Displacement and Aspiration – Separated into the following areas:
   - Displacement 3.661 in3 (60 L) – Engine displacement is the volume all cylinders can hold in combination.
   - Aspiration – is the method air is supplied to the engine. This engine utilizes a 2-stage turbocharger system. The intake air system is both intercooled and aftercooled. Two stage turbocharger systems consist of a low-pressure turbocharger supplying a high pressure turbocharger.
5. Fuel and Emissions – Separated into the following areas:
   - Compression Ratio 14.5:1 – Compression ratio is defined as the maximum to minimum volume in the cylinder in an internal combustion engine.
   - Fuel System Cummins MCRS – Modular Common Rail System is the newest most efficient high-pressure fuel system.
   - Emission Certification – Certified to EPA Tier 2 emission level

2-3-4 ما هو الـــ ATS ؟

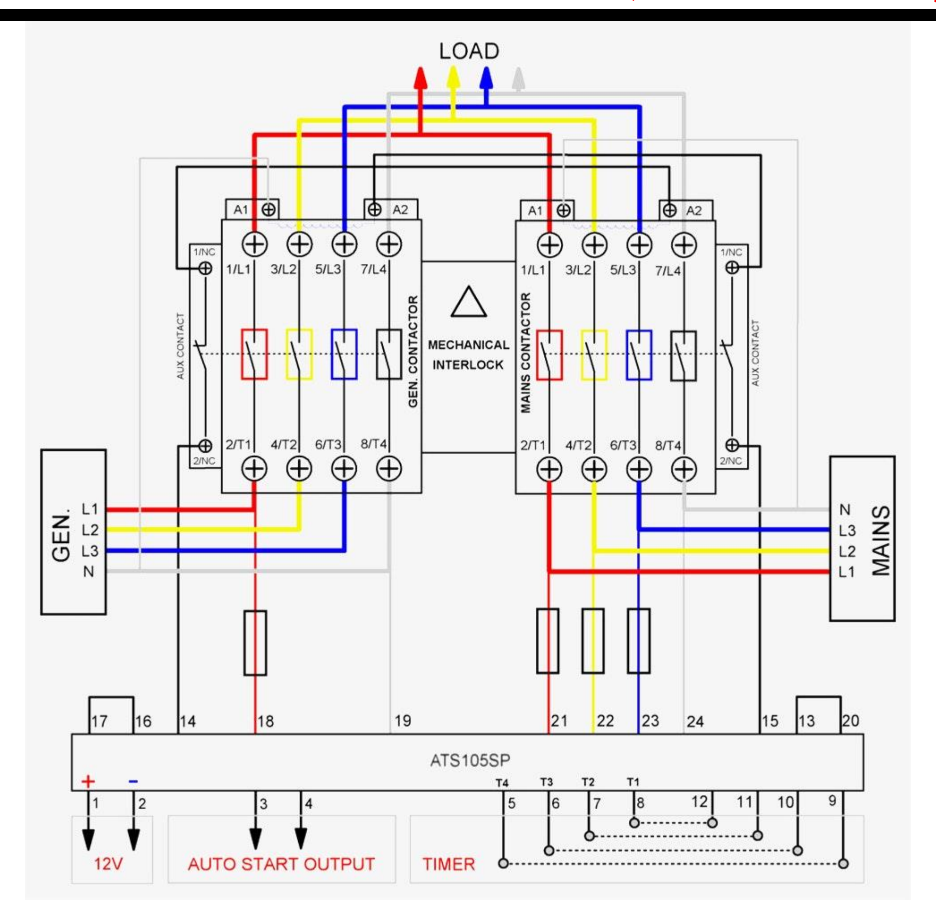
جهاز الـ Automatic Transfer Switch أو ما يعرف اختصارا بـ ATS، يمكنه أن ينقل تغذية أى لوحة طوارئ أوتوماتيكيا فى حالة انقطاع التيار من المصـــدر الأصـــلى وهو الكهرباء العمومية، إلى المصـــدر الثاني وهو مولد الديزل. وفى شكل 2-13 لجهاز بقدرة 63 أمبير فقط.



شكل 2-13

أما مع الأحمـــــــــــال الأعلى من ذلك نحتاج إلى لوحة منفصلة لهذه المهمة تتكـــــــــــون من two main Contactors بالإضـافة إلى دائرة تحكم كما في شـكل 2-14 (لوحة Digital، وهناك أنواع أخرى يكون التحكم فيها من النوع الـ Analog).





شكل 2-14

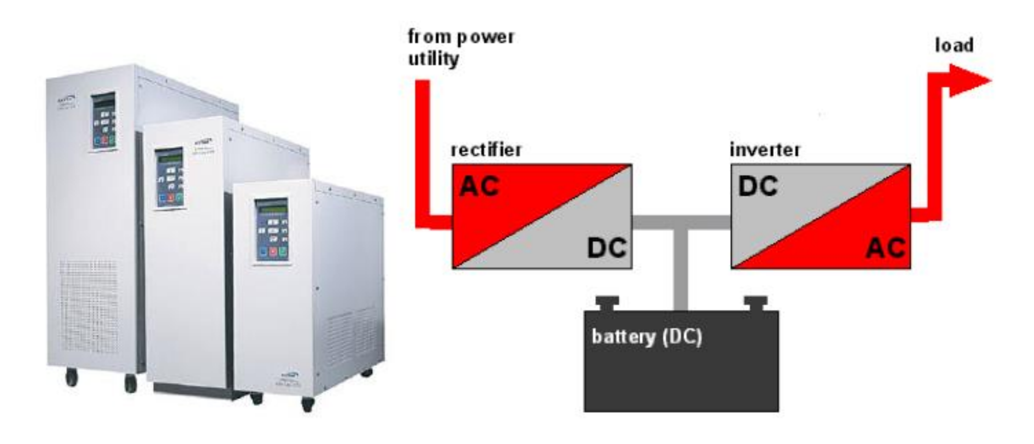
2-3-5 تغذية الأحمال بواسطة الـ UPS

أما الأحمال فائقة الأهمية مثل بعض أجهزة الحاسوب فى البنوك أو الـــ Servers مثلا فيتم تغذيتها من خلال جهاز خاص يعرف بالـــ Un-interrupted Power Supply، أو اختصارا UPS. ووظيفة هذا الجهاز هو ضمان منع انقطاع التيار الكهربى مطلقا عن هذه الأحمال الهامة.

والـUPS يتكون داخليا من ثلاثة أجزاء :

- فى الجزء الأول منه يتم تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر Rectifier.
- فى الجزء الثاني يتم استخدام التيار المستمر فى شحن عدد من البطاريات.
- فى الجزء الثالث يتم تحويل التيار المســـتمر الخارج من البطارية إلى تيار متردد مرة أخرى Inverter. والأجزاء الثلاثة تظهر فى شكل 2-15.

واضـــح من الشـــكل أن تغذية الحمل تأتى دائما من خلال البطارية، ومن ثم فعند انقطاع التيار فلن تتأثر هذه الأحمال مطلقا ولن تشـــعر بأى اهتزاز فى مصـــدر التغذية، لكن بالطبع عند انقطاع التيار فلن يكون هناك مصدر شحن للبطارية، ومن ثم سيستمر الـــــ UPS فى تغذية هذه الأحمال لمدة تتوقف على سعة البطارية وكمية التيار المسحوب منها، ولذا يتم توصيف البطاريات عادة بوحدات الـ Amp-Hour.



شكل 2-15

ولذلك فإن أهم عنصرين يجب تحديدهما فى مواصفات الـ UPS عند شرائه هما:

1. **قيمة أقصى تيار يمكن أن يغذيه.**
2. **أقصى مدة لهذه التغذية.**

وبالطبع كلما زاد التيار وزادت المدة كلما كبر حجم الـــ UPS وزاد سعره. و فى الغالب فإننا نحتاج لهذا الجهاز لمدة وجيزة (فى حالة أجهزة الحاســوب مثلا نحتاج لدقائق يمكن خلالها لمشــغل الجهاز أن يخزن المعلومات التى يخشى من ضياعها)، وأثناء هذه المدة الوجيزة تكون الشحنة المخزنة في بطاريات الـUPS هي المصدر الوحيد للتغذية، ويستمر الاعتماد على البطارية حتى يتمكن المصدر الاحتياطي (الديزل) من إتمام عملية الــ Starting والتي قد تأخذ حوالى عشر ثوانى، وبعدها تعود البطارية لتشحن مرة أخرى لكن هذه المرة من خلال الديزل وليس من المصدر الرئيسي.

وهناك العديد من البرامج الجاهزة التي تساعدك في اختيار النوع المناسب ومنها على سبيل المثال الموقع التالى : https://www.backupbatterypower.com/pages/ups-run-time-calculator

وما عليك ســوى حســاب حجم الأحمال التي تحتاج لتغذية بالوات، ثم يعرض عليك البرنامج بدائل متعددة في السعر وزمن التشغيل . وقد نقلت هنا فقط نموذج واحد لأحد هذه البدائل ثم نقلت مواصفاته بعد ذلك.

هذا البديل مثلا ثمنه 899 دولار ويعطيك 11 دقيقة تقريبا. مع إمكانية إضــافة ONE Extra External Battery Pack لزيادة المدة إلى نصـــف ســـاعة. وبعض الشـــركات كما في المثال التالي تعطيك المدة حسب التحميل أيضا.

وفي بعض الأنواع تزود بخاصـــية عمل Battery management حيـــث تتحكم في اختيـــار أوقـــات الشـــحن للبطارية، ويمكنها أيضـــا عمل Load shedding إذا تأخر رجوع المصدر أو دخول المولد وبالتالي يمكنها الاستمرار لمدة زمنية أطول.

Battery Backup Time Calculator

REVISION 180811

Enter Your Load (In Watts):

800

Select Your Model:

BBP-AR-1500-PSW-ONL ▾

Description:

1,350 Watt Tower UPS (Uninterruptible Power Supply) And Power Conditioner

Battery Option Selected:

UPS With Internal Batteries

Product Link (Click To View Pricing & Details):

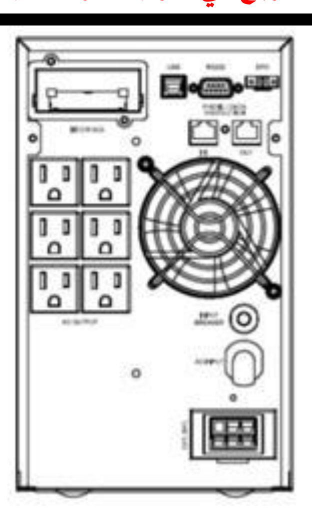
https://www.backupbatterypower.com/products/1-5-kva-1-350-watt-dsp-tower-ups-uninterruptible-power-supply-and-power-

Realistic Estimated Battery Backup Time:

(HH:MM:SS)

0:11:54





$ 899.99

- 1500 VA (1.5 kVA) / 1,350 Watt (1.35 kW)
- 55-150 Volt AC Input / 100/110/115/120/127 Volt AC Output
- **Pure Sine Wave Clean Output To Operate And Maximize The Life Of Even The Most Sensitive Electronics**
- **Online (Double Conversion) - Highest Level Of Protection Available - Battery Power Always Engaged, No Switching Delay (Phase Locked To Input Power Source)**
- Wide Frequency Input Range (44-66 Hz Auto Sensing) Allows
- **Constant Voltage Regulation (±1%)**
- **Constant Frequency Regulation (±1 or ±3% Selectable)**
- INPUT: 120 Volt, 15 Amp NEMA 5-15P (Standard Wall Plug)
- OUTPUT: 6x 120 Volt, NEMA 5-15R Battery & Surge Protected Receptacles (Standard Wall Receptacles)
- Full Load (1,350 Watts) Estimated Run Time On Battery Power:
  - Up To 11 Minutes On Internal Batteries
    - 3 Batteries, 12 Volts, 9 Amp Hours Each
  - Up To 35 Minutes On Internal Batteries + 1 Battery Pack
    - 9 Batteries, 12 Volts, 9 Amp Hours Each
- Half Load (675 Watts) Estimated Run Time On Battery Power:
  - Up To 23 Minutes On Internal Batteries
    - 3 Batteries, 12 Volts, 9 Amp Hours Each
  - Up To 1 Hours 56 Minutes On Internal Batteries + 2 Battery Packs
    - 15 Batteries, 12 Volts, 9 Amp Hours Each

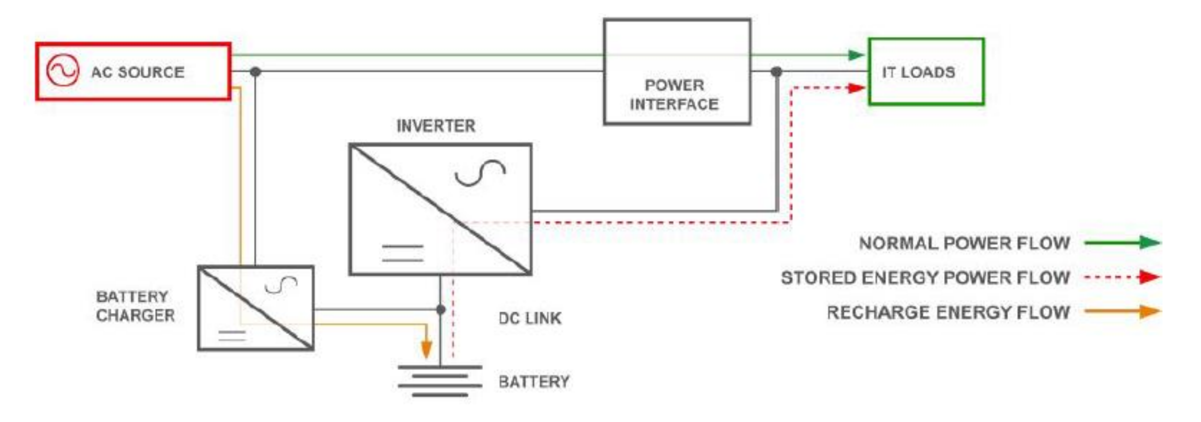
- Weight: 33.1 lbs.
- Dimensions (Inches): 6.1 X 10.2 X 15.9 (W x H x D)
- Operating Temperature: 32°-104° F
- Operating Humidity: 20%~95%, Non-Condensing
- Operating Elevation: 3,280 Feet Without De-Rating
- Includes Software For Windows Monitoring & Configuration

ملاحظة :

هناك طرق أخرى لتوصيل الـ UPS غير الطريقة السابقة والتي تسمى أيضا On–Line Connection، فهناك طرق أخرى تعرف بالــــ Standby Connection، أو Interactive mode، وتتميز بأن عمر الجهاز فيه يكون أطول، لكن على حساب شـيء مهم جدا وهو أنها تحتاج إلى Transmission Time لتدخل في الخدمة، ورغم أنه زمن صغير جدا مقارنة بزمن دخول المولد مثلا في الخدمة لكنه قد يكون في بعض التطبيقات غير مقبول . وزمن الانتقال في الحالات الثلاثة المذكورة هو:

- Zero in case of online ups
- From 5msec. to 12msec. in case of standby ups
- From 3msec. to 8msec. in case of line interactive ups.

والشكل التالى يظهر طريقة توصيل الــــ Interactive mode. لاحظ أنه في الوضع الطبيعي لا تمر التغذية من خلال الـ UPS، وإنما فقط عند انقطاع التيار.



الجزء الثاني :

المجموعة الثانية : الكابلات والموصلات الكهربية و طرق تمديداتها

2-4 مبادئ هامة قبل دراسة الكابلات

إن أهم مبدأ يجب مراعاته عند التعامل مع المعدات الكهربية عموما هو مبدأ الأمان Safety، وذلك نظرا لطبيعة الكهرباء وخطورة التعامل معها. ومن أجل تحقيق هذا المبدأ عند التعامل مع الكابلات فقد تميزت الكابلات بسمات خاصة تتعلق بالتركيب وطرق التمديد، وكلها صممت من أجل تحقيق عنصر الأمان. وقبل الدخول فى التفاصيل نشير إلى أن مصطلح "كابل" يطلق هنا على المغذيات الرئيسية Feeders التي تغذي لوحات التوزيع، أما المصطلح " الموصلاتWires or conductor فيطلق على الأسلاك المستخدمة في دوائر التغذية الفرعية Branch Circuit ذات المقطع الصغير.

2-4-1 العوامل المؤثرة على اختيار الكابل

هناك العديد من العوامل التى يجب أن يراعيها المصمم عند اختياره للكابل، ومن أهمها:

1. أقصى جهد تشغيلى Operating Voltage.
2. مستوى العزل.
3. اقصى حمل.
4. أقصى قيمة لـ Overload وأقصى مدة له.
5. أقصى قيمة لتيار القصر Short Circuit Current، SCC وأقصى مدة له.
6. الهبوط فى الجهد Voltage drop.
7. طول الكابل.
8. طريقة تمديده (تحت الأرض أم فى الهواء أم فى مواسير إلخ).

9. أقل وأكبر درجة حرارة يتعرض لها الكابل.
10. مواصفات التربة التي سيوضع فيها الكابل الفزيائية والكيميائية.

ولفهم هذه العوامل وتأثيرها فإننا فى الأجزاء التالية سنتعرض لدراسة عدد من المواضيع المتعلقة بالكابلات وهى:

1. تركيب الكابلات Cable structure.
2. طرق تمديد الموصلات والكابلات Layout.
3. تصنيف الكابلات Classifications.
4. عوازل الكابلات.
5. كيفية استخدام جداول الكابلات.
6. بعض مشاكل الكابلات.
7. اختبارات الكابلات.

كما سنتعرض فى جزء منفصل إلى الحديث عن الـ Bus Duct كأحد البدائل للكابلات. مع ملاحظة أن كيفية اختيار المقطع المناسب للكابل، و الحسابات الخاصة بذلك سيتم شرحها بصورة تفصيلية في الفصل الرابع من الكتاب. ويفضل قراءة الباب الخامس من كتابى هندسة القوى الكهربية لمزيد من التفاصيل.

2-5 تركيب الكابل

يتكون الكابل فى أبسط صورة من موصل ذى مقاومة منخفضة (نحاس أو ألومنيوم) يسمى قلب الكابل (Core) مغلف بعازل لعزل الموصلات عن بعضها البعض، وعزلها عما يحيط بها، وعن الأرض. وفى حالة الكابلات التى تستخدم فى التمديدات الكهربية فإن الكابل لا يحتوى فى تركيبه على أكثر من ذلك، ولذا تسمى بالكابلات المرنة.

ولكن بصفة عامة كلما ارتفع الجهد كلما ازداد تركيب الكابلات تعقيدا، حتى تصل مكونات الكابل فى بعض الجهود العالية إلى تسع طبقات هى كما فى شكل 2-16:

1- موصل معدنى Conductor وهو الحامل للتيار (نحاس أو ألومنيوم). ويتوقف مساحة مقطعه مع قيمة التيار المصمم عليه حيث كما زادت مساحة مقطع الموصل زاد التيار التصميمى للكابلات الكهربية.

2- ستارة الموصل (Conductor Screen) و تسمى أيضا حجاب الموصل Conductor Shield وهى طبقة رفيعة من مادة شبه موصلة تستخدم للحصول على توزيع أفضل للمجال الكهربي على السطح المشترك بين الموصل والعازل. وتستخدم مع كابلات الجهد العالي فقط. فمن المعلوم أن الموصلات تصنع مجدولة (Stranded) وبالتالي فالسطح المشترك بينها وبين العازل لا يكون منتظما مما يؤدى إلى عدم انتظام توزيع المجال الكهربى، وقد يؤدى ذلك إلى ارتفاع قيمة المجال إلى قيم عالية فى بعض النقاط مما قد يؤدى إلى انهيار العزل. ومن هنا جاءت أهمية هذه الطبقة التى تجعل سطح الموصل أملسا قدر المستطاع.

3- العازل الرئيسي Insulation or Dielectric وأشهر الأنواع هى الـ PVC and XLPE.

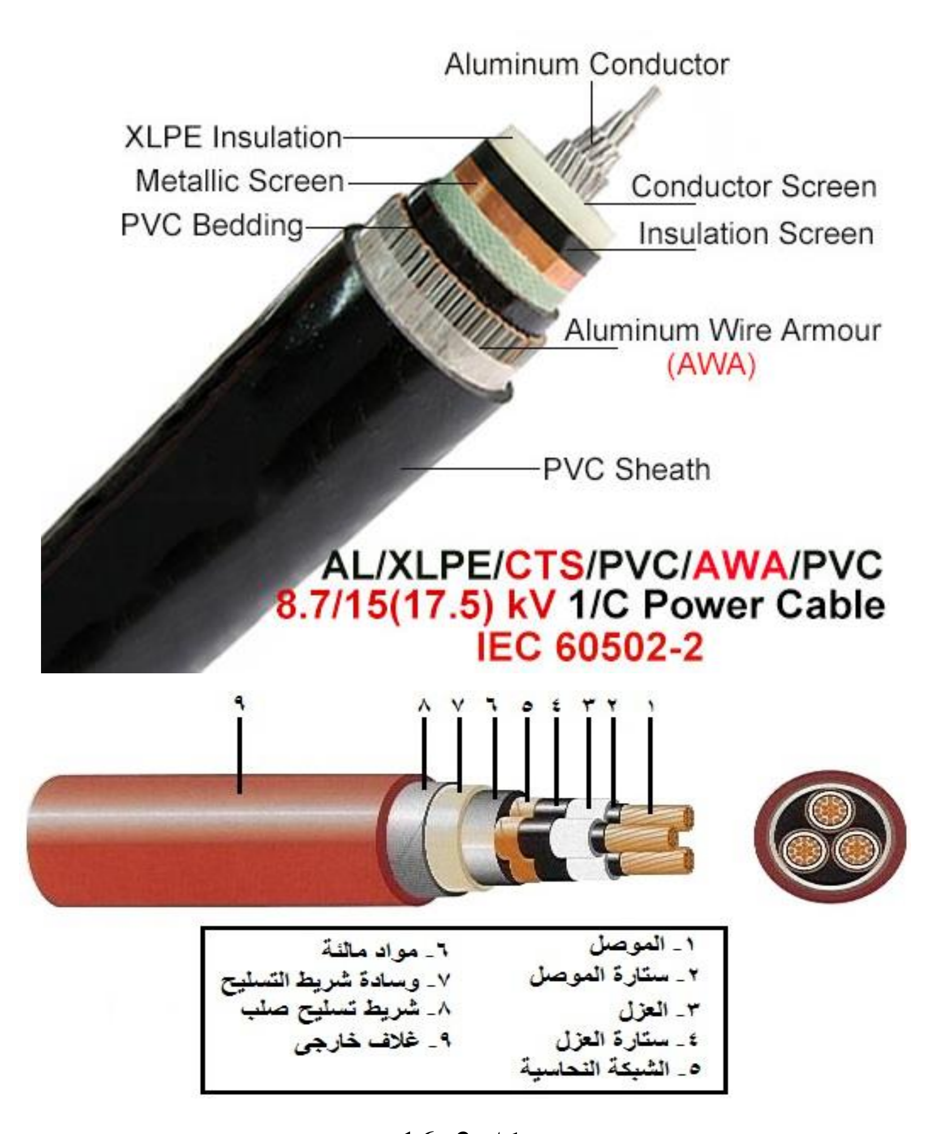
4- غلاف (ستارة) العازل Insulation Shield، وهى طبقة رقيقة جدا من مادة شبه موصلة تؤدى نفس الدور الذى تقوم به ستارة الموصل، حيث أن الطبقة التالية ستكون معدنية أيضا. وبالتالى فهى تساعد فى توزيع المجال الكهربى بانتظام على السطح الخارجى للعازل.

6- ستارة العازل المعدنية Metallic Sheath أو الغلاف المعدني Tape Shield وهى شريط نحاسى سمك 0.1 mm، وتعتبر الشبكة النحاسية مهمة جداً وهى موجودة على كل phase من الفازات الثلاثة أى أن كل phase من الفازات ملفوف عليه هذه الستارة النحاسية حلزونيا وبتجانس على طول الـ phase وذلك حتى يمكنها من تسريب تيار القصر إن وجد، كما أنها تحمى الكابل من الرطوبة وتسرب المياه. وقديما كان هذا الغلاف يصنع من الرصاص لكنه أصبح يصنع من الألومنيوم لخفة وزنه و رخص سعره، إضافة إلا أنه لا يتأثر بالاهتزازات الميكانيكية كالتي تحدث بخطوط السكك الحديدية أو الكباري. (لاحظ أنها دقيقة جدا ومن ثم فإن دورها الاساسي هو الحماية الكهربية وليس الحماية الميكانيكية والذى هو دور الـ Armor) .

7- حشو وبطانة (Filler) : أما الحشو فيكون غالبا من الجوت لملأ الفراغ بين الـ Cores فى كابلات الـ Multi-core وبالتالي يحافظ على استدارتها الشكلية، و أما الـ Inner Jacket فغالبا تكون من PVC.

8- درع معدني (Armor) أو التسليح وذلك لزيادة الحماية الميكانيكية للكابل، وهى عبارة عن أسلاك من الصلب المجلفن Galvanized Steal وأحيانا تكون على صورة شريط من الصلب المجلفن، أو أسلاك الألومنيوم . وتنص بعض المواصفات على أن الكابلات الأعلى جهدا من 1 kV يجب أن تكون ذات تسليح معدنى.

9- الغطاء الخارجي Outer Jacket لحماية الأجزاء المعدنية خاصـــة الألومنيوم من التآكل. كما يســتخدم لحماية ووقاية الموصــــلات والأجزاء الداخلية للكابلات الكهربية من الرطوبة والحرارة والمواد الكيماوية التى يمكن أن يتعرض لها الكابل ويكون من مواد مقاومة للظروف التي سيستخدم فيها الكابل وعادة يكون من الـ PVC لأنها مادة خاملة كيميائيا، أى لا تتفاعل مع الأحماض أو القلويات أو المواد العضــوية، ويكون لونه إما أحمر أو أســود، وليس للألوان أى دخل فى تحديد وتفضــيل أى كابل عن الآخر.



شكل 2-16

6-2 طرق تمديد الموصلات والكابلات

هناك عدة طرق لتمديد شبكة الكابلات والموصلات داخل المشروع الكهربى، من أهمها:

- استخدام المواسير بأنواعها (Conduits/Ducts).
- استخدام حوامل الكابلات (Cable Trays).
- الدفن المباشر فى الأرض.

2-6-1 تمديد الموصلات

يعتبر عنصر الأمان هو الأهم داخل المباني، ومن ثم توضع جميع الموصلات (الأسلاك) داخل مواسير Conduits، و هذه المواسير تكون إما خارجية، أو داخل الحوائط أو تحت الأرضيات. وهناك أنواعا عديدة من المواسير Conduit، فمنها المواسير البلاستيك PVC وتتميز بخفة الوزن وكونها لا تحتاج لتأريض، وكذلك تتميز بسهولة الثنى والقطع. ومنها أيضا المواسير المعدنية الصلبة والتى تعطى حماية ميكانيكية للموصل، وهناك أيضا المواسير المرنة Flexible Conduit والتى غالبا تستخدم عند نهايات الأحمال من أجل سهولة فصلها عن الحمل أثناء الصيانة.

وأهم النقاط التى يجب مراعاتها عند التعامل مع هذه المواسير طبقا للموصفات هى :

1. التأكد من أن عدد الموصلات داخل الماسورة لا يتعدى الحد الأقصى الذى تحدده المواصفات طبقا لمقطع الموصل وقطر الماسورة.
2. تطبيق قواعد المسافة القصوى بين نقاط تثبيت الماسورة.
3. تصحيح الحد الأقصى لعدد الموصلات داخل الماسورة طبقا لعدد الانحناءات على طول مسار الماسورة، والذى يجب ألا يزيد عن ثلاثة انحناءات متتالية. (إذا زاد العدد عن ذلك يلزم عمل صندوق اتصال Junction Box ويسمى أيضا صندوق مناولة).

وتجدر الإشارة إلى أنه داخل المباني يستخدم أسلوب آخر للتمديدات يعرف باسم الـ Raceways أو الترنكات Trunking، وهى مصنوعة من البلاستيك أو المعدن ولها غطاء يمكن فتحه. وتتميز عموما بسهولة تغيير الدوائر بداخلها.

وبعض أنواع الـ Raceways أو الترنكات يكون تحت الأرض لاسيما فى المكاتب، والبعض الآخر يركب فوق الحوائط كما في شكل 2-17. وغالبا تستعمل الـ Raceways المركبة فوق الحوائط حين يكون هناك العديد من المخارج المتنوعة التى تضم مخارج كهربية ومخارج للتليفونات والانترنت وغيرها. وأيضا يكثر استخدامها مع أجهزة الحواسب الآلية، حيث تحتاج هذه الأجهزة لمخارج متنوعة و كثيرة (طباعة، كهرباء، تليفونات، نت ،....) ولا يصلح معها المواسير المدفونة بالحوائط.

وهناك أنواعا حديثة من هذه الـ Raceways تتصل المخارج فيها بـ Busbars داخلية ممتدة بطول الـ Raceway، وبالتالى تسمح بتغيير المكان الذى تضع فيه الجهاز على طول الـ Raceway مما يعطى حرية فى تغيير نظام المكاتب وطريقة وضع الأثاث بلا أدنى مشكلة. وما عليك سوى تحريك الغطاء يمينا ويسارا لتغلق مخرجا قديما وتفتح مخرجا جديدا فى مكان آخر.

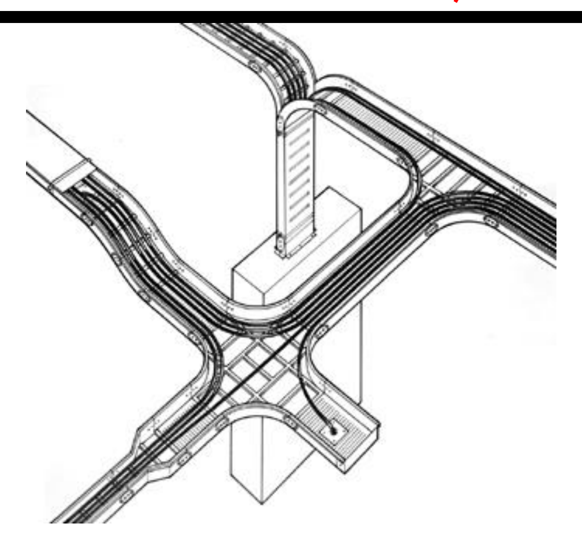




شكل 2-17

2-6-2 تمديد الكابلات

تتوقف الطريقة التى يتم اختيارها لتمديد كابل على عدة عوامل، من أهمها طبيعة المشروع. فالمشروعات الصناعية مثلا يفضل معها استخدام Cable Trays لكون الكابلات توضع على هذه الحوامل مكشوفة كما فى شكل 2-18، وبالتالى فتسريب الحرارة من الكابل يكون أفضل منه من وضعها داخل مواسير، كما يسهل تتبع الأخطاء التى يمكن أن تحدث بالكابلات (وما أكثرها فى حالة المنشآت الصناعية).



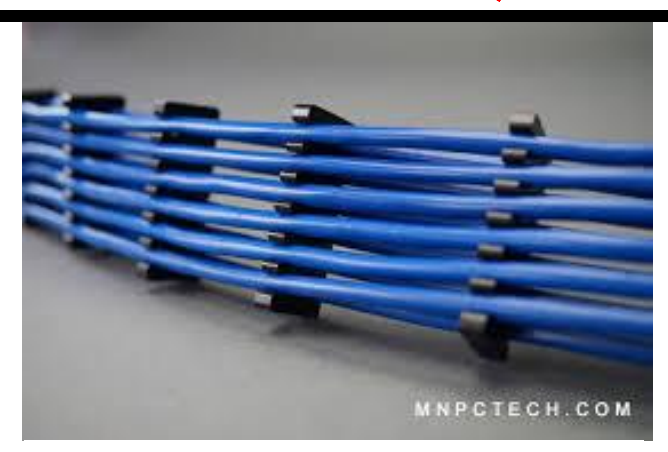
شكل 2-18

بينما يفضل دائما فى حالة تمديد الشبكات الرئيسية بالمدن أن تكون الكابلات مدفونة مباشرة بالأرض، لأن ذلك أفضل من حيث جودة التسريب للحرارة المتولدة بالكابلات، كما أنه أوفر اقتصاديا (تذكر أننا هنا سنتعامل مع عدة كيلومترات وليس أمتارا).

2-6-3 دفن الكابلات بالأرض :

عند دفن الكابل في الأرض مباشرة يراعى أن يتم على النحو التالي :

- عمق الدفن لا يقل غالبا عن 80 سم.
- توضع أولا طبقة من الرمل الناعم بسمك 10 سم ثم يتم تمديد الكابل فوقها مباشرة.
- يضاف الرمل مرة أخرى فوق الكابل بعد تمديده حتى نصل لارتفاع 20 سم من عمق الدفن.
- نضع قوالب من الطوب على طول مسار الكابل كعلامة إرشادية.
- نرد التراب العادي الذي خرج أثناء الحفر إلى الحفرة مرة أخرى حتى مسافة 20 سم من حافة الحفر، ثم نضع شريط تحذير أصفر عند هذا العمق. وبعد وضع الشريط نستكمل الردم ثم نضع طبقة من الأسفلت لرصف الشارع.
- في حالة وضع أكثر من كابل داخل الخندق الواحد يراعى وضع Separators جاهزة (قديما كنا نستخدم قالب طوب) للفصل بينهما على طول مسار الكابلين وليعمل كحاجز للحريق بينهما كما في شكل 2-19، مع ترك مسافة مناسبة بين الكابلين لتحسين الـ De-rating factor.





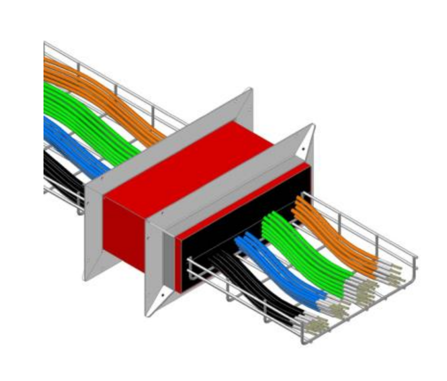
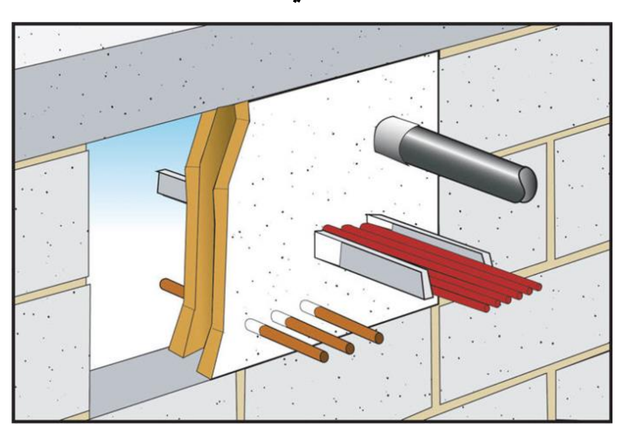
شكل 2-19

- عند قطع مسار الكابل لأي شارع يجب أن يوضع الكابل داخل ماسورة PVC لزيادة حماية الكابل من الضـغوط الميكانيكية الناتجة عن عبور السيارات فوق الكابل، مع ملاحظة أن سمك طبقة الرمل تزداد إلى 30 سم في هذه الحالة لنفس السبب.
- قطر الماسورة يجب أن يزيد عن قطر الكابل 4 سم لضمان سهولة تمديد الكابل فيه.
- لاحظ أن التحميل الزائد للكابل سـيتسـبب في زيادة حرارة المتولدة داخل الكابل المدفون بالأرض مما يترتب عليه ارتفاع درجة الحرارة التربة و تبخر الرطوبة بها و هذا يتسـبب في زيادة المقاومة الحرارية للتربة فتصـبح أقل كفاءة في تسـريب حرارة الكابل، وقد يترتب على ذلك – في حالة اسـتمرار تزايد

الحرارة – أن يدخل داخل الكابل في مرحلة Thermal Run away أي مرحلة الانهيار الحراري، و ينتهي الأمر باحتراق الكابل.

2-6-4 ملاحظات عامة على تمديد الكابلات

- يجب ألا نضع كابل منفرد Single Coreداخل ماسورة معدنية لأن التيار الكهربي المار به يصاحبه مجال مغناطيسي يتسبب في نشوء تيار حتى Induced Current داخل الماسورة المعدنية قد يتسبب في سخونة الماسورة و من ثم احتراق الكابل بالإضافة إلى الفقد الكبير في القدرة.
- يجب وضـــع Fire Barrier (حاجز للحريق) قبل الدخول إلى الأماكن الخطرة Hazard area كما في الصورة حتى يمنع انتقال الحريق عبر الكابلات إلى هذه الغرف كما في شكل 2-20.

شكل 2-20

- يجب وضع كابلات الـــــ Control، وكابلات التليفونات و غيرها من كابلات التيار الخفيف على مسافة لا تقل عن 30 cm بعيدا عن كابلات القوى منعا لحدوث تداخل مغناطيسي.

2-7 تصنيف الكابلات

الكابلات أنواع عديدة، ويمكن تصنيفها على أسس متعددة مثل جهد التشغيل أو نوع الموصل أو نوع العازل أو عدد الـ (Cores) فى الكابل الواحد، وكذلك يمكن أن تصنف حسب مجال استخدامها.

2-7-1 التصنيف حسب جهد التشغيل

تصنف الكابلات حسب جهد التشغيل إلى:

- كابلات الجهد العالي (أعلى من 66kV) .
- كابلات الجهد المتوسط (أعلى من 3.3 kV) .
- كابلات الجهد المنخفض.

مع ملاحظة أنه لا يوجد اتفاق عالمى على قيم محددة لهذه التصنيفات، وربما تختلف من مكان لآخر. لكن أهم ما يميز كابلات الجهد العالي هو تعقد التصـــميم مقارنةً بالكابلات الأخرى نتيجة الحاجة لكفاءة عزل عالية جدا، والحاجة أيضـــا لأســـاليب تبريد أكثر كفاءة، فارتفاع الجهد والتيار يؤديان إلى ارتفاع قيمة المفقودات Losses سـواء خلال الموصـلات أو خلال العوازل، وهذا بالطبع سـيؤدى إلى ارتفاع فى درجة حرارة الكابل.

2-7-2 التصنيف حسب نوع الموصل

وهناك نوعان من الموصـلات هما النحاس والألومنيوم، و كلاهما جيد التوصـيل للكهرباء، وإن كان النحاس أفضـل حيث يصـل معامل التوصـيل Conductivity له إلى 1.724 μΩ.cm مقارنة بمعامل التوصـيل للألومنيوم الذي يصـل إلى أقل من نصـف هذا الرقم، غير أن الألمونيوم يتميز بأنه أرخص سـعرا، وأخف وزنا، حيث تصل كثافة الألومنيوم النوعية إلى أقل من ثلث كثافة النحاس النوعية.

ويعتبر تكون طبقة رقيقة صلدة من أكسيد الألومنيوم على سطح الموصل من العيوب الأساسية لموصلات الألومنيوم، ورغم أن هذه الطبقة من جهة تحمى الموصـــل من التآكل لكنها من جهة أخرى تتســـبب فى مشاكل عديدة فى عمليات اللحام وتركيب أطراف الكابلات (Glands).

ويجب ملاحظة أن وجود معادن أخرى مدفونة تحت الأرض بجوار كابلات الألومنيوم ولها أنودية أقل من الألومنيوم مثل الرصـــاص أو الحديد قد تســـاعد فى عملية تآكل كابلات الألومنيوم، وتظهر هذه المشـــكلة بوضـــوح عند تركيب كابلات الألومنيوم على بارات نحاس داخل لوحة التوزيع، حيث يبدأ بعد فترة حدوث تآكل فى الألومنيوم، ولذا نسـتخدم ما يسـمى Bi-metal Gland لمنع حدوث هذه المشـكلة داخل لوحات التوزيع. والـــــــ Bi-metal Gland عبارة عن وصـلة معدنية خاصـة مصـممة للاستعمال بين معدنين مختلفتين وتظهر في شـــكل 2-21. (راجع مزيد من التفاصـــيل في الباب الخامس من الكتاب الرابع : هندسة القوى الكهربية)



شكل 2-21

والجدول 2-2 يوضح الفرق بين النحاس والألومنيوم مع بيان مميزات وعيوب كل منهما.

جدول 2-2: مقارنة بين كل من النحاس والألومنيوم

أوجه المقارنة	معدن النحاس	معدن الألومنيوم
النقاوة	% 99.98	% 99.5
الكثافة عند 20 م	8.9 جم/سم^3	2.7 جم / سم^3
المقاومة	0.0178 أوم. مم^2/ م	0.0286 أوم. مم^2/ م
الموصلية	97 متر / أوم. مم ^{2}	61 متر / أوم. مم ^{2}
الشد المسموح به	19 كجم / مم ^{2}	10 كجم / مم ^{2}
أقصى شد	40 كجم / مم^2	18 كجم / مم^2
قابلية التمغنط	غير قابل للتمغنط	غير قابل للتمغنط

قابلية الصدأ عند التعرض للعوامل الجوية	يغطى بطبقة صدأ لونها أخضر من أكسيد النحاس وهى مادة عازلة	يفقد لمعانة بسرعة ويغطى بطبقة من أكسيد الألومنيوم وهى مادة عازلة
المميزات	موصل جيد - يتحمل إجهادات عالية	موصل جيد- طرى- خفيف الوزن- رخيص الثمن
العيوب	ثقيل الوزن - غالى الثمن	سريع التأكسد - مقاومة تعادل 1.5 من مقاومة النحاس

2-7-3 التصنيف حسب نوع العازل

الكابلات تسـمى باسـم مادة العزل المسـتخدمة فيقال مثلا كابل PVC مما يدل على مدى أهمية العزل فى صـــنـاعة الكابلات، وهو أهم مكونات الكابل، ونظرا لهذه الأهمية فإنه يجب أن تتوافر فى مادة العزل المواصفات التالية، مع الأخذ فى الاعتبار أنه من الصعب توافر كل مواصفات وخصائص العزل الجيد فى مادة واحدة.

خصائص المادة العازلة

1. أن تكون لها مقاومة نوعية عالية.
2. أن يكون لها جهد انكسار عالي.
3. ألا تقبل امتصاص الرطوبة من الوسط المحيط بها.
4. لا تتفاعل مع الأحماض والقلويات الموجودة بالتربة.
5. أن تكون لها خاصية الصلابة و المرونة معاً.
6. لا تتأثر أو تتغير مكوناتها بارتفاع درجة الحرارة الناتجة عن تيار الحمل العادي أو أقصـــى حمل أو الحرارة الناتجة عن تيار القصر.
7. لا تقبل سريان الحريق.
8. ضمان حمل التيار الكهربي بأمان حتى أقصى جهد أسميِ بين الموصلات.

وأشهر أنواع المـــواد العازلـــة هى :

1. البولى فينيل كلورايد PVC.
2. البولى إيثلين بأنواعه XLPE.
3. المطاط EPR.
4. الورق المشبع بالزيت.
5. الحرير والقطن.
6. الورنيش.

وهنا تفاصيل أكثر عن بعض هذه الأنواع:

النوع الأول : PVC

الــــــــ PVC يتميز بخواص كهربية ممتازة عند الجهود المنخفضة ودرجات الحرارة المنخفضة إلى جانب رخص ثمنه. ويلاحظ أنها حاليا تستخدم فى مواسير المياه والصرف الصحى لما لها من خمول كيميائي، إلا أنها كمادة عازلة لا تستخدم غالبا إلا حتى جهد 1000 فولت فقط.

ومن أهم صفاته :

1- لها مقاومة نوعية Resistivity عالية.
2- لها جهد انكسار Breakdown Voltage حتى 1000 فولت.
3- لها خاصية عدم امتصاص الرطوبة من الوسط المحيط.
4- غير نشطة كيميائيا أى خاملة " لا تتفاعل مع الأحماض أو القلويات ".
5- لا تتأثر بالمذيبات أو الشحوم.
6- لا تتأثر بالمياه.

ومن ثم فهو دائما الاختيار الأول فى جميع أنحاء العالم حتى جهد 3.3kV، حيث ترتفع قيمة مفقودات العزل مع الجهود الأعلى من ذلك. لكن يعيب هذا النوع أن عازليته تتأثر بدرجة الحرارة ومن ثم لا يصـــلح فى التطبيقات ذات الحرارة العالية، فعند ارتفاع درجات الحرارة تكون مادة (PVC) أكثر ليونة وهذا بالطبع غير مرغوب فيه. كما أن مقاومته تكون ضـــعيفة فى درجات الحرارة المنخفضــة جدا و يمكن أن يحدث به تشققات.

و يتميز الــــــ PVC بخاصية الإطفاء الذاتى للهب، فهو يشتعل عند تقريب لهب إليه لكنه ينطفئ بمجرد إبعاد اللهب عنه، إلا أنه ينتج غازات سامة عند اشتعاله. وأخيراً، يجب أن يراعى ألا يتعرض الـ PVC إلى الانحناءات الحادة فهو ليس مثل المطاط مثلا فى هذه الخاصية.

النوع الثاني: XLPE

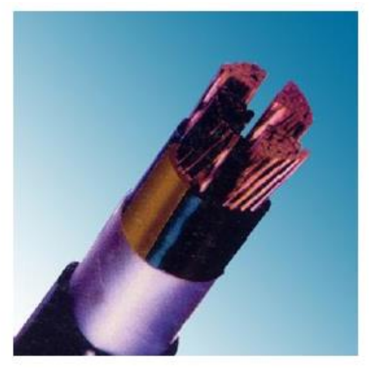
البولى إيثيلين التشـــابكى XLPE، ويتميز بمقاومة عالية للرطوبة، وتحمل درجات الحرارة المرتفعة، وتحمل حالات الـ Short circuit، والتحميل الزائد. وهو أصلد العوازل المعروفة ولذا لا يحتاج غالبا إلى تسليح إلا عند توقع تعرضـــه لإجهادات ميكانيكية عنيفة لاسـيما عند دفنه بالأرض، مع ملاحظة أن هذه الصــلادة تستلزم تجنب تعرضه لانحناءات شديدة أثناء التمديد.

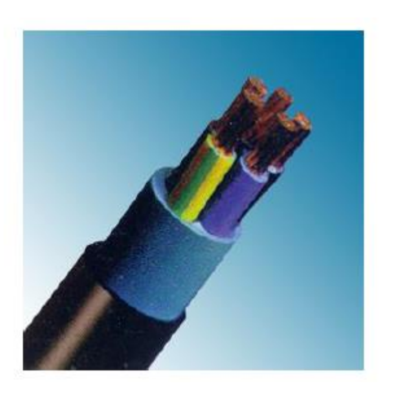
النوع الثالث : EPR

العوازل المطـاطيـة وأهمها الإثيلين بروبلين EPR، ويعتبر المطـاط مقـاوم للميـاه ولكنـه لا يقـاوم النفط والبنزين.

2-7-4 عناصر أخرى لتصنيف الكابلات

تصــنف الكابلات أيضــا إلى كابلات مسلــحة Armored و غير مســلحة Non-Armored. و يقصــد بالتسـليح هذا الشـريط الصـلب (سـمكه حوالى 0.5-0.1 ملم) الذي يلف حول الكابل من الخارج لإعطائه صــلابة ميكانيكية تحميه من الضـــغوط الخارجية التي تقع على الكابل مثل وزن التربة و الســيارات المارة فوقها....إلخ كما يظهر فى شــكل 2-22 (يمين) وقد ظهر أيضــــا في شــكل 2-16. مع ملاحظة أن التسليح يقلل كثيرا من مرونة الكابل وسهولة التعامل معه.





شكل 2-22

لاحظ أن الكابلات التى توضع داخل المباني أو فوق حاملات الكابلات Cable Trays لا تكون معرضة لأي ضـغوط ميكانيكية لذا يناسبها النوع الثاني الغير مسلح Non-Armored الذى يظهر فى شكل 2-22 يسار.

كما يمكن **تصـنيف الكابلات حسـب عدد الـــ Cores**، فالكابل أما أن يكون Multi -core حيث تكون الأوجه الثلاثة وكابل التعادل (3- Phases+ Neutral) كلهم داخل عازل الكابل الخارجى كما فى شكل 2-23 (يمين)، أو يكون Single -core كما فى شكل 2-23 (يسار).

وعموما يفضل النوع الـــــ (Multi-core) لسهولة التعامل معه من حيث نقله وتمديده فى المواسير. لكن الميزة الأهم أن مجموع الفيض للــــــ 3-phase سيساوى صفرا وهذا يعنى أنه لن يسبب induced currents في أي موصلات مجاورة، أو الموصلات حوله.

أما مع المقاطع الكبيرة (غالبا أكبر من $240\ mm^2$) فتصــبح هناك صــعوبة فى لف الكابل حول البكرات التى تنقله من المصـنع إلى المسـتهلك، كما تصـبح هناك صـعوبة بالنسـبة للعمال فى تمديد الكابل داخل المواسـير أو حتى داخل خنادق الكابلات بسـبب وزنه الزائد، ومن ثم ففى هذه الحالات يفضـل اسـتخدام كابلات من النوع الـ Single Core. راجع الباب الخامس من الكتاب الرابع لعلاج مشكلة تسليح الكابلات الـ Single core.



شكل 2-23

2-7-5 التصنيف حسب وحدات القياس وكود الألوان

يختلف قياس مقطع الكابلات في أمريكا عن بقية العالم، فهم يستخدمون نظام قياس يعرف بالـ American Wire Gauge، AWG. والعلاقة بينه وبين نظام الـ SI-Unit تظهر في الجدول 2-3:

جدول 2-3

AWG	mm²
1	42
2	33.6
4	21.1
6	13.3
8	8.3
10	5.2
11	4.1
12	3.3
14	2.0
16	1.3
18	1.0
20	0.5
22	0.3

فمثلا الكابل الـ $50mm^2$ في نظام SI-Unit يكافئه كابل قياسه 1/0 في أمريكا، وكذلك الكابل No.14 في النظام الأمريكي يكافئ الكابل $2.5\ mm^2$ في SI-Unit. ويتم أيضا التصنيف حسب الـ color code والذى يختلف من دولة لأخرى كما في شكل 2-24.

Region or Country	Phases	Neutral	Protective earth/ground
European Union (EU) (IEC 60446) including UK from 31 March 2004	, ,		
UK prior to 31 March 2004	, ,		
Egypt, India, Pakistan	, ,		

شكل 2-24

2-7-6 تصنيف العوازل

يعتبر تحمل المواد العازلة لدرجات الحرارة المختلفة من الخواص المهمة فى تصـــنيف العوازل الكهربية، ولهذا السبب تقسم المواد العازلة إلى سبعة أصناف كل منها يستعمل حتى درجة حرارة معينة كما ورد فى مواصفات جمعية المهندسين العالمية IEC والمختصرة فى الجدول 2-4:

جدول 2-4 : تصنيف العوازل حسب تحملها لدرجة الحرارة

الصنف	أقصى درجة حرارة	أمثلة
Class (0)	(90 C°)	هـذا الصـــــنف يحتوى على المواد الآتيـة : القطن – الحرير – الورق بدون أن تعالج بمواد أخرى.
Class A	(105 C°)	وهذا الصــنف يشــمل المواد الســابقة (القطن، الحرير، الورق) بعد معالجتها بالورنيش العازل أو الزيت.
Class (B)	(130 C°)	ويشمل المايكا والاسبستوس ونسيج الحرير.
Class (F)	(155 C°)	ويشمل المواد السابقة بعد معالجتها بمواد لاصقة.
Class (H)	(180 C°)	ويشــمل المواد الســابقة ومعها الســيليكون المرن بعد معالجتها بمواد لاصقة.
Class-220	(220 C°)	ويشمل أى مادة عازلة تتحمل 220 درجة مئوية.
(Class (C	over (220 C°)	وتشمل الخزف الصينى والزجاج والكوارتز.

2-8 جداول الكابلات

و من الضروري أن يكون المهندس على دراية تامة بطريقة استنتاج المعلومات الخاصة بالكابل من جداول الكابلات. والجدول 2-5 يمثل نموذجا مصورا من إحدى كتالوجات شركات الكابلات.

1. يضم العمود الأول يضم مقاطع الكابلات مقاسة بالـ mm^2.
2. العمود الثانى فى الجدول 2-5 يعطي مقاومة الكابل عند اســتخدامه في دوائر التيار المســتمر DC، أما العمود الثالث فيعطي مقاومة الكابل عند استخدامه في دوائر التيار المتردد AC. و هناك فرق بين مقاومة السـلك فى الحالتين بسـبب أن التيار المتردد يميل - كلما زاد التردد - إلى المرور فى أطراف

السلك الخارجية بحيث تصبح مساحة السطح الفعلية أصغر من المساحة الأصلية، ولذا تكون دائما $R_{AC} > R_{DC}$.

3. العمود الرابع والخامس والسادس فى الجدول 2-5 يندرجون جميعا تحت عنـ.....................وان Current Rating، وتمثل قيمة أقصى تيار يتحمله الكابل فى الظروف الطبيعية حسب طريقة التمديد (هل هو تمديد مباشر بالتربة، أم فى مواسير، أم بالهواء، كما سيرد بالتفصيل فى الجزء التالى).

4. العمود قبل الأخير فى الجدول 2-5 يمثل قطر الكابل الخارجى، ونستفيد منه فى حساب قطر الماسورة المناسبة عند تمديد الكابل داخل مواسير.

5. أما العمود الأخير فيمثل وزن الكابل ونستفيد منه فى تصميم حوامل الكابلات خاصة فى حالة الكابلات الكبيرة التى يصل وزن الكيلو متر الواحد منها إلى عدة أطنان كما فى حالة الكابل $300mm^2$ الذى يصل وزن الكيلومتر الطولى منه إلى أكثر من 12 طن.

جدول 2-5

0.6/ 1(1.2) KV، multi-core Cables، with stranded Copper Conductors، PVC-Insulation، PVC، sheathed

Nominal cross sectional area		Max. Conductor resistance		Current rating			Approx. overall diameter	Approx. weight
		DC at 20 °C	AC at 70 °C	Laid direct in ground	Laid in ducts	Laid in free air		
mm²		Ω/km	Ω/km	A	A	A	mm	kg/km
Two core cables								
1.5	rm	12.1000	14.600	24	19	20	10.1	120
2.5	rm	7.4100	8.870	30	25	28	10.9	145
4	rm	4.6100	5.540	40	32	39	12.9	205
6	rm	3.0800	3.690	50	40	50	13.9	255
10	rm	1.8300	2.190	65	55	66	15.8	390
16	rm	1.1500	1.390	85	65	88	17.9	527
25	rm	0.7270	0.870	110	85	116	21.3	770
35	rm	0.5240	0.628	130	105	143	23.5	965
Three core cables								
1.5	rm	12.1000	14.600	21	18	18	10.6	145
2.5	rm	7.4100	8.870	27	23	22	11.5	190
4	rm	4.6100	5.540	35	30	31	13.6	270
6	rm	3.0800	3.690	45	36	39	14.7	340
10	rm	1.8300	2.190	60	48	53	16.9	510
16	rm	1.1500	1.390	75	60	72	19.0	710
25	rm	0.7270	0.870	100	80	94	22.7	1050
35	rm	0.5240	0.628	120	95	110	25.1	1360
Four core cables								
1.5	rm	12.1000	14.600	21	18	18	11.4	180
2.5	rm	7.4100	8.870	27	23	22	12.4	230
4	rm	4.6100	5.540	35	30	31	14.8	335
6	rm	3.0800	3.690	45	36	39	16.0	425
10	rm	1.8300	2.190	60	48	53	18.5	650
16	rm	1.1500	1.390	75	60	72	20.9	910
25	rm	0.7270	0.870	100	80	94	25.0	1360
35	sm	0.5240	0.628	120	95	110	25.1	1650
50	sm	0.3870	0.464	145	115	138	29.3	2225
70	sm	0.2680	0.322	175	145	171	32.9	3065
95	sm	0.1930	0.232	210	165	209	37.8	4175
120	sm	0.1530	0.185	240	195	242	41.2	5205
150	sm	0.1240	0.151	270	220	275	45.9	6400
185	sm	0.0991	0.121	300	245	314	50.7	7960
240	sm	0.0754	0.084	345	290	374	57.0	10330
300	sm	0.0601	0.077	390	320	440	63.3	12915

2-8-1 السعة الأمبيرية للكابل (Current Carrying Capacity)

لاحظ أن تحمل أى كابل للتيار يختلف من طريقة تمديد لأخرى، فالكابل الموضوع فى ماسورة مثلا يتحمل تيارا أقل من الكابل الموضوع مباشرة داخل التربة.

وترجع اختلاف قيمة تحمل الكابل للتيار من ظرف لآخر إلى اختلاف كفاءة التبادل الحرارى بين الكابل والجو المحيط به. فالكابل تتولد فيه حرارة نتيجة مرور التيار فيه، فإذا كان معدل طرد هذه الحرارة من الكابل أعلى من معدل توليدها داخله فإننا يمكن أن نزيد من قيمة التيار المار بالكابل والعكس صحيح. ومن ثم فإنه من غير الدقيق أن نقول أن الكابل الذى مقطعه $16mm^2$ مثلا يتحمل 80 أمبير. فهذه العبارة تعتبر غير دقيقة إلا إذا أضفنا إليها معلومة تشير إلى طريقة تمديد الكابل، وهل هى مثلا فوق الأرض أم تحت الأرض، وهل الكابل موضوع فى ماسورة Duct أم مباشرة فى الهواء فوق حامل كابلات Cable-Trays، وهكذا.

وتقوم شركات الكابلات بأخذ ظروف التمديد المختلفة وكافة هذه المفقودات وما يترتب عليها من ارتفاع فى درجة حرارة الكابل فى الاعتبار عند حساب السعة الأمبيرية التي يتحملها الكابل، ولذا تختلف القيم الموجودة فى الأعمدة 4-5-6 فى الجدول 2 – 5. بمعنى آخر فإن هذا هو السبب في عدم صحة وجود قيمة واحدة لأقصى تيار يتحمله الكابل.

لاحظ أن هناك العديد من الجداول داخل كتالوجات الشركات، حيث يختص كل جدول منهم بالسعة الأمبيرية للكابل فى ظروف تشغيل وتمديد معينة، وحسب تصنيفات العازل والجهد والتسليح إلخ. ولذا يجب التأكد بدقة قبل استخدام قيمة تحمل الكابل من جدول معين أن هذا الجدول يتطابق عنوانه مع ظروف تشغيل الكابل المراد حساب سعته الأمبيرية.

2-8-2 كتابة اسم الكابل

تسمى الكابلات دائما بدلالة مساحة مقطعها وليس بقيمة التيار المار فيها، فيقال كابل $10mm^2$ ولا يقال كابل 50 أمبير مثلا. ويكتب اسم الكابل بطريقة يمكننا من خلالها استنتاج مقطع الكابل ونوعه (أحادى أم ثلاثى الأوجه) كما فى المثال 2-3.

مثال 2-3
ما معنى الصيغة التالية لأحد الكابلات $PVC/CU\ 3x95+50\ mm^2$ ؟

الحل:

هذه الصيغة تعنى أن لدينا: كابل نحاسى ثلاثى الأوجه (3-phase)، معزول بـ PVC و متعدد القلوب multi-core، بداخلهcores-4 ، مساحة المقطع فى ثلاثة منهم تساوى $95mm^2$ (وهذه الثلاثة تمثل الـPhases الحاملة للتيار)، بالإضافة إلى موصل رابع مقطعه $50mm^2$ ويمثل Neutral.

لاحظ أنه يمكن إجراء بعض التعديلات على الصيغة السابقة كما فى المثال 2-4:

مثال 2-4

ما معنى الصيغة التالية لأحد الكابلات PVC/CU $+25\ mm^2$ (3x95+50)؟

الحل:

هذه الصيغة تعنى أن لدينا كابل multi-core، مثل السابق بالإضافة إلى سلك مفرد للأرضي مقطعه $25mm^2$.

مثال 2-5

ما معنى الصيغة التالية [3x240+120]3 ؟

الحل:

هذه الصيغة تعنى وجود ثلاثة كابلات من النوع الـ Multi-core، موصلة على التوازى، ومقطع الـ Phase في كل كابل من الثلاثة يساوى $240mm^2$، بينما مقطع الـ Neutral فى كل كابل يساوى $120mm^2$.

9-2 مواصفات خط التعادل Neutral

مقطع الـــ Neutral يكون غالبا نصف مقطع الــ Phase، وهذا طبيعى، لأن المفترض نظريا أن سلك Neutral لا يمر فيه تيار فى حالة اتزان الأحمال على الـــ Phases الثلاثة، وحيث أنه فى كل الأحوال الطبيعية يكون مجموع الأحمال الثلاثة يقترب من الصــفر وأقل من تيار أيا من phases الثلاثة، وبالتالى فكان طبيعيا أن يكون مقطع الـ Neutral أصغر من مقطع الـ Phases. لكن بالطبع هذا فرض نظرى ولا يمكن دائما التحكم فى اتزان الأحمال خاصة فى الأحمال السكنية.

وعموما، ليس بالضرورة أن يكون مقطع الـ N نصف مقطع الـ Phase بل هناك استثناءات منها:

1- فى حالة الكابلات الصــغيرة (أصــغر من $35mm^2$) فإننا لا نحتاج لهذا الخفض فى مقطع الـــ Neutral لأن جدواه الاقتصــادية محدودة جدا، ثم إنه من الأسـهل على شركات تصـنيع الكابلات أن تجعل الكابلات الأربعة ذات مقطع موحد، وبالتالى فالكابل مقطع $6\ mm^2$ يكتب اســمه على النحو التالى : $4x6\ mm^2$، وهذا يعنى أن الـــ 3-Phases+ Neutral جميعهم لهم مقطع يساوى $6\ mm^2$.

2- فى حالة الأحمال المحتوية على أجهزة Power Electronics أو الشــبكات التى بها أجهزة UPS، فعندئذ يفضل جعل الـــ Neutral مساويا للـــ Phase (أحيانا يصل إلى الضعف) حتى نضمن عدم حدوث ارتفاع فى درجة حرارة الـ Neutral نتيجة الـ Third Harmonic التى تتولد من هذه الأجهزة الإلكترونية (خطورة هذا النوع من الـ Harmonics تأتى من أنها تجمع جبريا وليس اتجاهيا. لماذا؟) ويسمى هذا النوع من الكابلات Full Neutral Cable.

3- تستخدم الكابلات Full Neutral Cable أيضا فى حالة دوائر الإضاءة التى تستخدم اللمبات الفلورية Florescent Lamps حيث ترتفع قيمة الـــ Third Harmonic بشدة، مما ينتج عنه ارتفاع قيمة التيار فى الـ Neutral.

10-2 مشاكل الكابلات

هناك العديد من المشاكل المتعلقة بالكابلات نذكر منها هنا :

2-10-1 الفقد فى القدرة المنقولة Power Loss

القدرة الكهربية Electric Power المنقولة عبر أى كابل تتعرض لتناقص فى قيمتها Power loss نتيجة عدة عوامل منها :

1- الفقد بسبب مقاومة الموصل R، وتقدر قيمة هذا الفقد من المعادلة 2-2 :

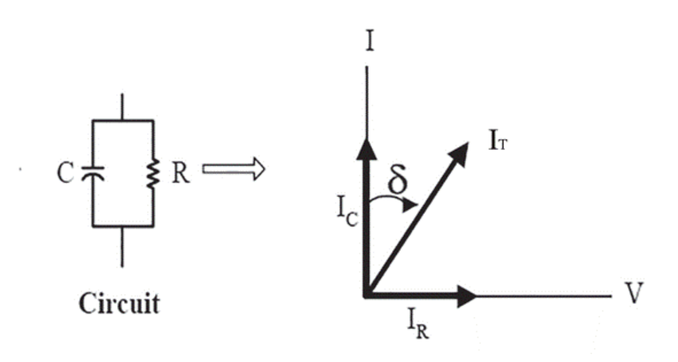
$P_{Loss}=I^2R$.....................2-2

بمعنى أنه كلما زادت مقاومة الكابل كلما ارتفعت قيمة الفقد فى القدرة.

2- أيضا هناك مفقودات فى القدرة خلال العازل المحيط بالموصل Insulation Loss، وهذه تحسب من المعادلة 2-3:

$$P_{ins} = V^2 \omega C \tan\delta ....2-3$$

حيث (δ) هى زاوية الفقد Loss angle لمادة العازل المحيط بالكابل، وهى الزاوية المتممة بين الجهد الموجود على الـــ phase وبين التيار المتسرب كما في شكل 2-25، وهى تختلف عن زاوية الـــ Power Factor التى تكون بين الجهد وتيار الـــ Load. والزاوية (δ) إحدى الثوابت التى تميز مادة عازلة من أخرى، ومن الواضح أنها كلما زادت قيمتها كلما زادت الـ Power loss خلال العازل.



شكل 2-25

3- وهناك أيضــا فقد فى الغلاف المعدنى Metallic Sheath Loss، وهذا يحدث نتيجة التيارات Induced Current التى تمر فى الغلاف المعدنى بتأثير الحث Induction، ومن ثم تتســبب فى فقد فى القدرة.

وجميع هذه المفقودات تسبب ارتفاع فى درجة حرارة الكابل، ومن ثم يجب التأكد دائما من وجود اتزان حراري للكابل، بمعنى أن الحرارة المتولدة تساوى (أو أقل من) الحرارة المتسربة من الكابل. لاحظ أن الحرارة المتسربة من الكابل تتوقف فى حالة دفن الكابل تحت الأرض على المقاومة الحرارية النوعية للتربة ومسامية حبيباتها.

وفى حالة كابلات الجهد العالي – حيث المفقودات تكون ضخمة – فإننا نحتاج إلى كابلات زيتية Oil Filled Cable تستخدم أنابيب مملوءة بالزيت بامتداد طول الكابل بغرض التبريد كما في شكل 2-26. لاحظ أن الزيت موجود فى منتصف الـ Core، الذى يوجد فوقه طبقات العزل المختلفة.



شكل 2-26

ويعيب هذا النوع من الكابلات أنه يتأثر بالارتفاعات والانخفاضات فى مستوى التربة على طول مسار دفن الكابل، فيتجمع الزيت فى أماكن المنخفضات وينخفض مستواه فى أماكن الارتفاعات مما قد يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الكابل فى (نقاط الارتفاعات) ومن ثم حدوث أعطال. ولذا فدائما تستخدم خزانات تعويضية Reservoir ومضخات فى أماكن تغير مناسيب level التربة لتجنب انخفاض مستوى الزيت فى أى منطقة على طول مسار الكابل. ومن ثم فهذه الكابلات تحتاج لخزانات زيت تعويضية عند أطراف الكابل، و عند كل تغير (صعودا وهبوطا) فى مستويات الأرض المدفون بها الكابل. وقد أصبح استخدام هذه الكابلات نادرا وحلت محلها كابلات الـ PE.

2-10-2 التيارات المتسربة

وهناك نوع آخر من المشاكل، لكنه يتعلق هذه المرة بالتيار مباشرة. حيث تعتبر ظاهرة تسرب التيار على مدى طول الكابل خلال طبقات العازل التى تحيط بموصل الكابل من المشاكل السلبية التى تظهر بوضوح

فى الكابلات، ويسـمى هذا التيار بتيار الشـحن Charging Current أو التيار المتسـرب Leakage Current. وتحسب قيمة هذا التيار من المعادلة 2-4:

$$I_C = V\omega C..................2-4$$

حيث

V هو جهد التشغيل مقاسا بالـ Volt.

ω ترتبط بتردد التيار (f) المار بالكابل من خلال العلاقة ($\omega = 2\pi f$).

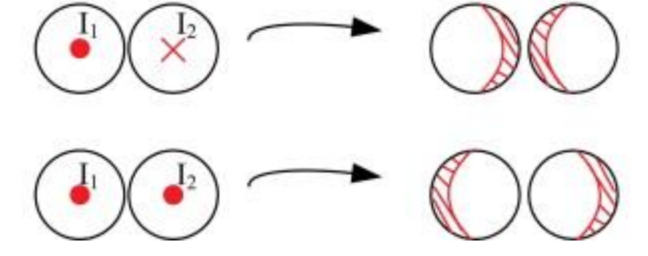
C هى السعة (Capacitance) مقاسة بالـ Farad.

ومن هنا، فكلما زاد جهد التشغيل، أو زادت الـــ Capacitance الخاصة بالكابل كلما ارتفعت قيمة التيار المتسرب على طول الكابل، حتى إنه يصل إلى 13A لكل كيلومتر طولى فى الكابلات جهد 220 kV.

و عندما يصـــل طول الكابل إلى قيمة معينة (تسـمى الطول الحرج Critical Length) فإن قيمة تيار الشحن المتسرب من الكابل تصبح مساوية لقيمة التيار المقنن للكابل I_R. و هذا يعني أن كل الـــPower المنقولة خلال الكابل قد تسربت، و لم يصل للحمل منها شئ. و الطول الحرج في منظومة الـــ 132 kV هو 64 Km، بينما يصل هذا الطول الحرج في منظومة الـ 400 KV إلى 24 Km فقط.

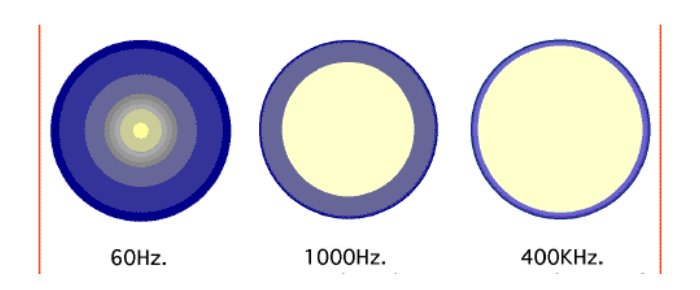
2-10-3 تغير مقاومة الكابل

ومن مشـاكل الكابلات أيضـا ارتفاع قيمة مقاومة السـلك فى دوائر التيار المتردد بسـبب ميل التيار للمرور فى حدود الكابل الخارجية Outer Boundaryكلما زاد تردد التيار ارتفاعا، ومن ثم تصبح المساحة الفعلية لمقطع الموصـل التى يمر بها تيار كهربى أصـغر، وتسـمى هذه الظاهرة بظاهرة التأثير السـطحى (Skin Effect) (انظر شكل 2-27) حيث الجزء الفاتح اللون يمثلا فراغا من التيار.



شكل 2-27

ونشـير هنا إلى أن مقاومة الكابل الفعلية أيضـا تزيد إذا وضـع كابل آخر بجواره وكان يحمل تيارا، حيث يميل التيار فى كلا الكابلين للتباعد عن بعضـهما البعض (إذا كان التيار في نفس الاتجاه)، أو زيادة التقارب بينهما (إذا كان التيار في اتجاهين متعاكسين مما يترتب عليه نقص فى المساحة الفعلية التى يمر فيها التيار ومن ثم ترتفع أيضـا مقاومته الفعلية عن المقاومة المحسوبة نظريا، وتسمى هذه الظاهرة بالتأثير التجاوري (Proximity Effect) (انظر شكل 2-28) و بالطبع تزيد مقاومة الكابل كلما قلت المسافة بين الكابلين.



شكل 2-28

2-10-4 تغير مقاومة الكابل بالحرارة

لاحظنا أن المقاومة المذكورة بجداول الكابلات (مثل جدول 2-5) هى مقاومة الكابل عند 20 درجة مئوية (R_{20}) ، (فى بعض الكتالوجات تكون محسـوبة عند 40 درجة مئوية) وهي قيمة يجب تعديلها إذا كان الكابل مستخدما فى بيئة درجة حرارتها أعلى من ذلك. ويمكن حساب القيمة المعدلة للمقاومة حسب درجة الحرارة الجديدة من المعادلة 2-5:

$$R_T = R_{20}[1 + \alpha(T - 20)] .... 2-5$$

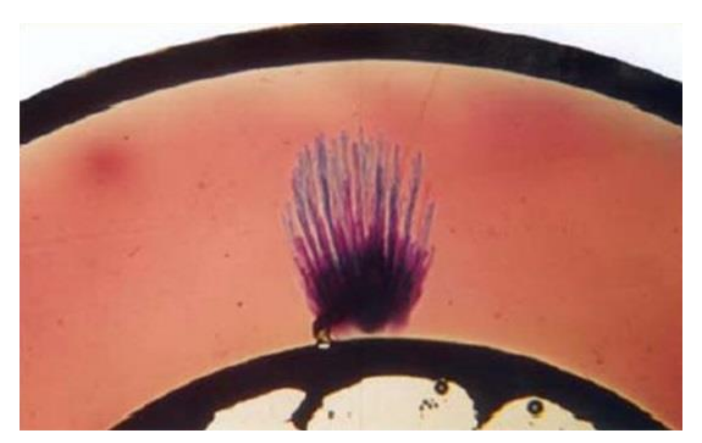
حيث

α هى المعامل الحرارى لمادة الموصل (تساوى 0.0039 Ω/ °C للنحاس بينما تساوى 0.004 للألومنيوم)

T هى درجة الحرارة الفعلية.

2-10-5 تأثر الكابلات بالرطوبة

تسرب الرطوبة لداخل العازل سواء الـ PVC أو XLPE يمكن أن يؤدى إلى حدوث ظاهرة التشجير المائى (Water Treeing) كما في الصورة – لاسيما إذا كان سطح الموصل غير أملس والمجال غير منتظم – فعدم انتظام المجال يمكن أن يســـاعد فى وجود نقاط تركيز للمجال ذات قيمة مرتفعة فى المناطق ذات النتوءات بين سطح الموصل و العزل، فيتكون شق يشبه الخيط الرفيع داخل العازل أو على أطرافه، وتزداد تفرعات هذا الشـق فى جميع الاتجاهات حتى يصـنع ما يشـبه الشـجرة، ومن هنا جاء الاسـم لهذه الظاهرة التى تنتهى فى الأخير بانهيار العازل.

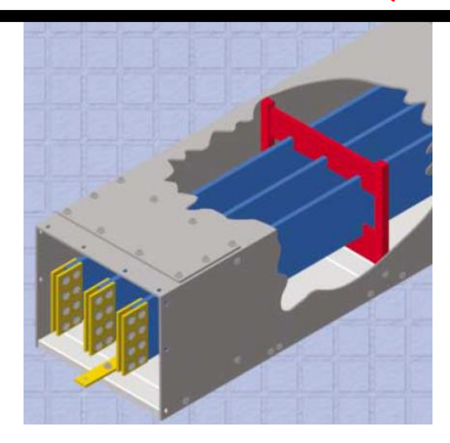


2-10-6 الهبوط فى الجهد

بالطبع فمن أهم مشـــاكل الكابلات هو التســـبب في حدوث هبوط فى الجهد Voltage Drop عند طرف الحمل مقارنة بالجهد عند طرف المصـــدر، ويتوقف هذا الهبوط على قيمة التيار المار فى الكابل ومقاومة الكابل وطوله، كما ســنرى تفصــيلا فى الجزء الثاني من الفصــل الرابع عند الحديث عن اختبارات صــحة التصميم.

2-11 استخدام الـ BUS DUCT

هناك بديل للكابلات هو الـ Bus Duct، وهو عبارة عن بارات من النحاس أو الألومنيوم مجمعة معا ومعزولة عن بعضها داخل هيكل معدنى كما فى شكل 2-29



شكل 2-29

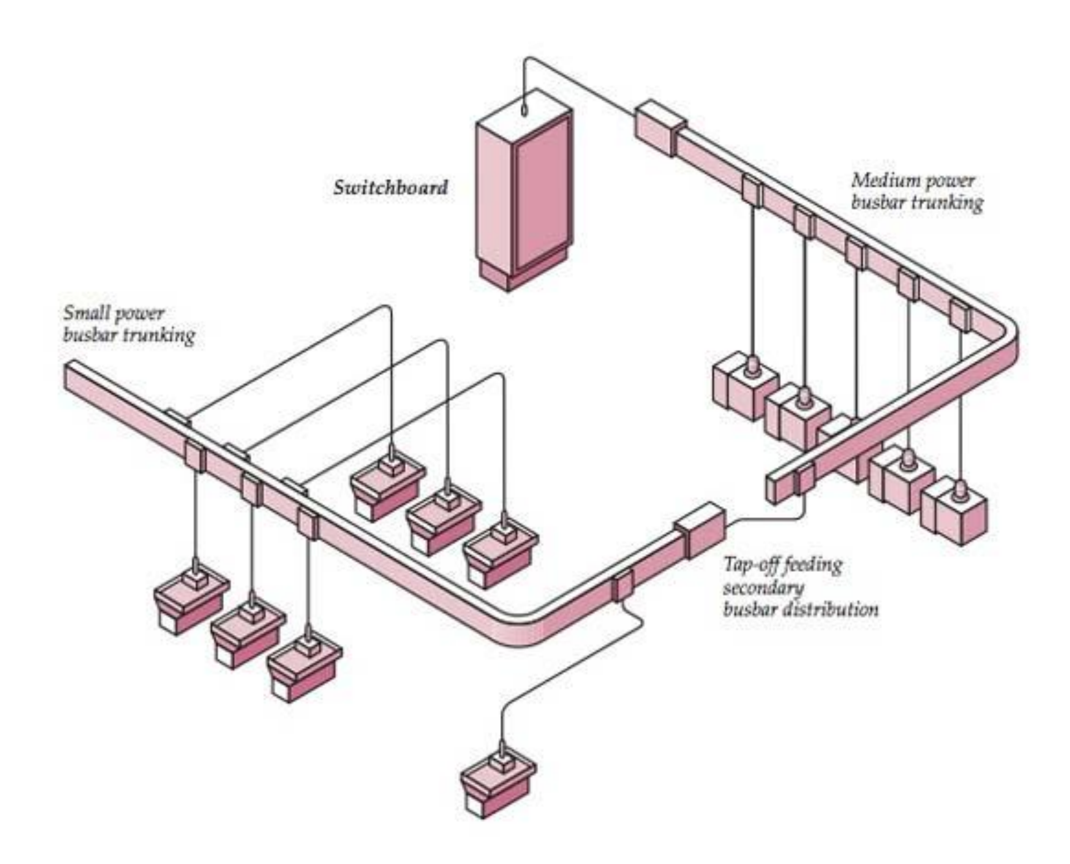
ويستخدم الـــ Bus Duct كبديل للكابلات فى كثير من الحالات، لكنه يصبح البديل الأول المفضل فى حالة الأبراج العالية، فعندها يصـــبح من غير الملائم اقتصـــاديا (وحتى شـــكليا) اســـتخدام عدد كبير من الكابلات كما في شكل 2-30.



شكل 2-30

ويصبح استخدام الـــ Bus Duct مفضلا أيضا فى حالة التعامل مع كابلات تحمل تيارات عالية و يؤخذ منها تفريعات على طول مســارها، أو فى حالة أن يكون مكان الأحمال التى يتم تغذيتها من هذه التفريعات قابل للتغيير من وقت لآخر، فعندها يصبح تغيير مكان الـ Taps أو الـ Plug-In Units المركبة على الـ Bus Duct أيسر بكثير من تغيير منظومة الكابلات كمــــــا فى شكل 2-31.

ورغم أن المساحة التى يحتاجها عدد معين من الكابلات أكبر بكثير من مساحة الـــ Bus Duct المكافئ، لكن الكابلات تتميز عن الـBus Duct بشئ أساسى وهو الاعتمادية العالية Reliability إذا كانت متصلة Continuous (أى بدون وصــــــلات) من نقطة التغذية وحتى الحمل، فهذه ميزة لها لأن أى Bus Duct لابد له من عدد من الوصــلات لاسيما عند المنحنيات، ومعلوم أن هذه الوصــلات هى مصـدر للكثير من الأعطال.



شكل 2-31

2-11-1 أنواع الـ Bus Duct

هناك ثلاثة أنواع من الـ Bus Ducts (شكل 2-32):

1- النوع الأول ويسمى Non-Segregated Duct.

2- النوع الثاني ويسمى Segregated Duct.

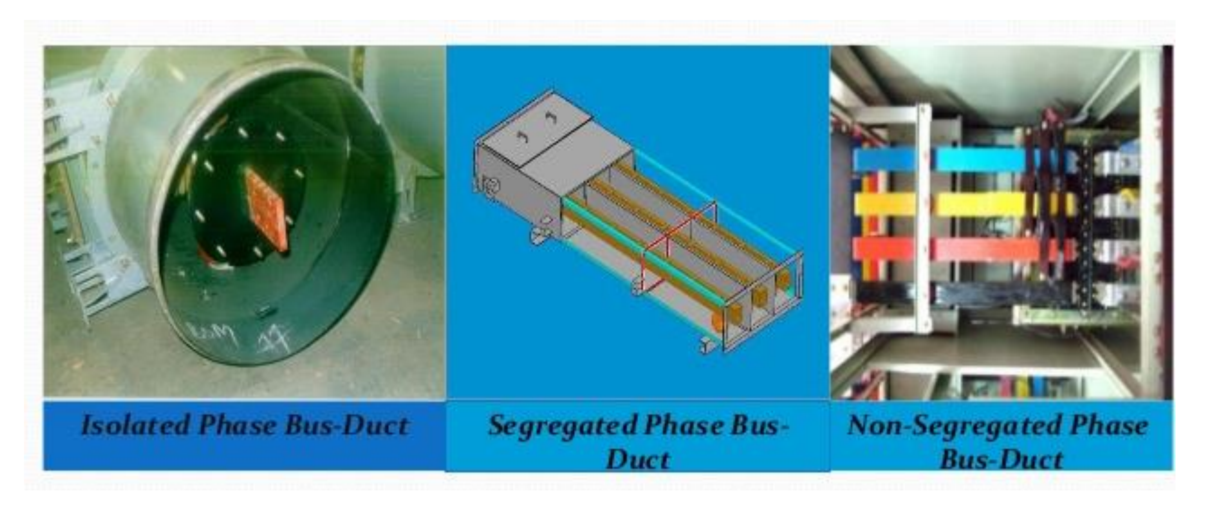
3- النوع الثالث ويسمى Isolated Duct.

والفرق الأساسى بين الأنواع الثلاثة – كما هو واضح من الاسم – هو فى طبيعة العزل الموجود بين الـــــ Phases الثلاثة.

ففى النوع الأول تكون الـــــ Phases الثلاثة داخل نفس الإطار المعدنى Housing وبدون فواصل بينهم سـوى عوارض التثبيت التى تصـنع من البورسـلين أو البوليسـتر وظهرت باللون الأحمر في شـكل 2-29. ويتراوح تحمل هذا النوع بين 1200 أمبير و5000 أمبير ، و يمكن اســـتخدامه حتى 38 kV، وتتراوح مساحة المقطع له بين $24-96\ in^2$.

بينما فى النوع الثاني يكون هناك فواصل داخل الإطار المعدنى الذى يضم الـ Phases الثلاثة.

أما النوع الأخير فيكون لكل Phase من الـــــ Phases الثلاثة غلاف معدنى Housing منفصل، وهذا يعنى أن الـ Phases الثلاثة معزولة تماما عن بعضها البعض.



شكل 2-32

وتصـــنع البارات الداخلية الحاملة للتيار (تظهر باللون الأزرق فى شـــكل 2-29) فى جميع الأنواع من النحاس بنقاوة تصـــل على 98 % وتطلى هذه البارات فى حالة الجهود الأعلى من 2400 فولت بمادة عازلة تتحمل حتى $130\ ^0C$ أى أنها (Class-B طبقا للجـــــــــــــــدول 2-4) ، وهذه المادة عبـــــــــــــارة عن بودرة تعرف بـ Epoxy Powder Insulation. ومادة الـ Epoxy لا تشتعل ولها خواص حرارية ممتازة، بالإضـافة بالطبع إلى خواصـها العازلية. وهذه المادة أيضـا تساهم فى تقوية البارات وزيادة صلادتها. وتستثنى من الطلاء فقط مناطق الوصلات، وعادة تتم هذه العملية فى أفران خاصة.

2-11-2 ملحقات الـ Bus Duct

يحتاج الـــ Bus Duct عادة إلى وصلات (ملحقات accessories) لعمل تغذيات فرعية للأحمال على طول مساره. وأهم الملحقات accessories الشائعة الاستخدام هى :

1- الـ Elbow ويستخدم لعمل تغيير فى زاوية السير بـ 90 درجة.

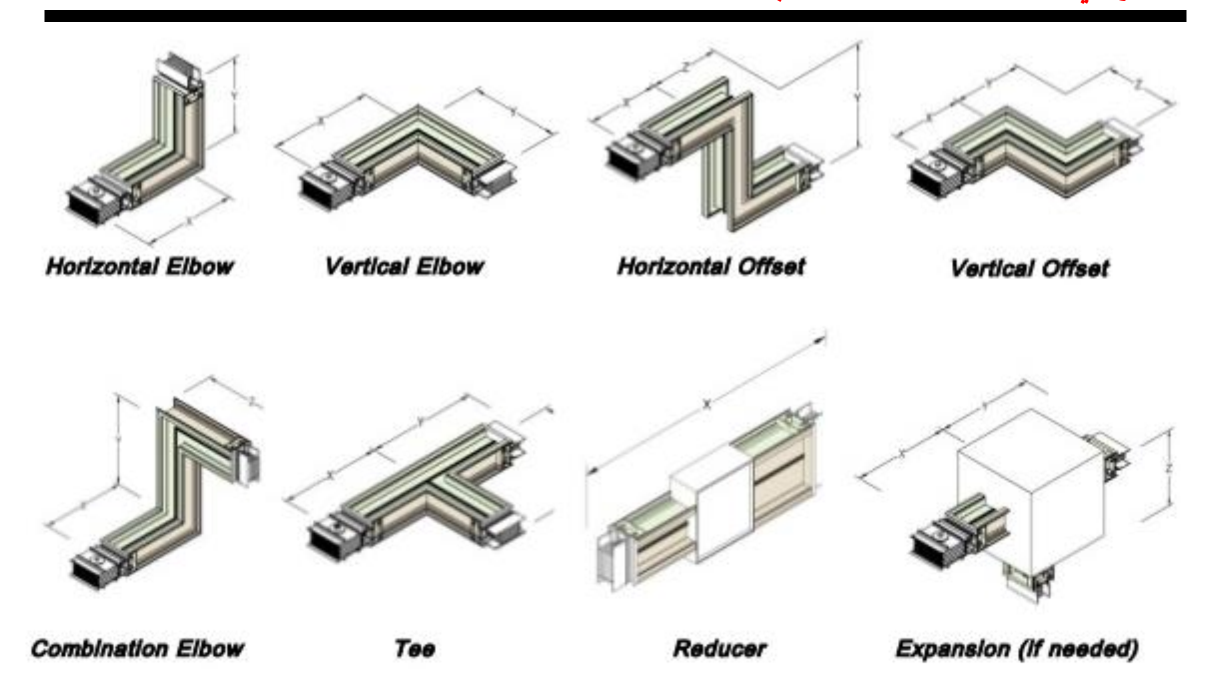
2- الـ Tee ويستخدم لعمل تفريعة ذات ثلاث أطراف.

3- الـ Offset ويستخدم لعبور العوائق.

4- وصلة التمدد وتستخدم إذا زاد الطول عن 50 قدم وذلك لمراعاة ظروف التمدد بالحرارة.

5- الـ Wall Flange وتستخدم عند عبور حوائط.

6- الـ Cable Tap box ويستخدم عند عمل اتصال بين كابل عادى وبين الـ Bus Duct. وفى شكل 2-33 نموذجا لذلك.



شكل 2-33

2-11-3 المواصفات الفنية للـ Bus Duct

من أهم سمات الــــــ Bus duct كما ذكرنا هو تحمله لتيار أعلى لنفس مقطع الموصل مقارنة بالكابلات (تذكر أن الســـبب يرجع لغياب الخوف من انهيار العازل مع التحميل العالي فى حالة الكابلات). والجدول 2-6 يبين تحميل أحد أنواع الـ BD حسب أبعاده

لاحظ وجود أنواع مختلف 3W، 4W and 5W حسب عدد البارات فى الـBD.

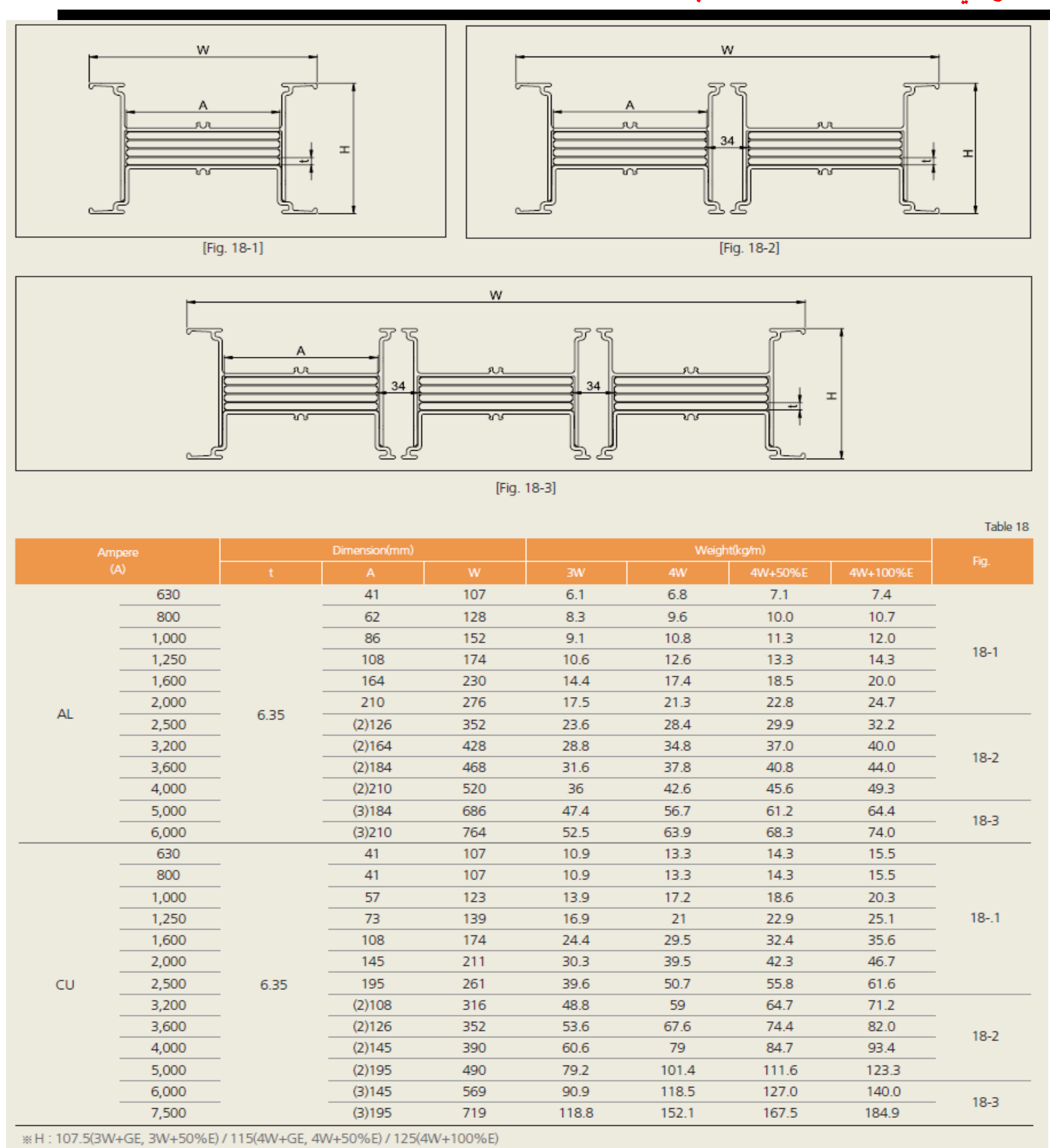


Table 18

Ampere (A)		Dimension(mm) t	A	W	Weight(kg/m) 3W	4W	4W+50%E	4W+100%E	Fig.
AL	630	6.35	41	107	6.1	6.8	7.1	7.4	18-1
	800		62	128	8.3	9.6	10.0	10.7	
	1,000		86	152	9.1	10.8	11.3	12.0	
	1,250		108	174	10.6	12.6	13.3	14.3	
	1,600		164	230	14.4	17.4	18.5	20.0	
	2,000		210	276	17.5	21.3	22.8	24.7	
	2,500		(2)126	352	23.6	28.4	29.9	32.2	18-2
	3,200		(2)164	428	28.8	34.8	37.0	40.0	
	3,600		(2)184	468	31.6	37.8	40.8	44.0	
	4,000		(2)210	520	36	42.6	45.6	49.3	
	5,000		(3)184	686	47.4	56.7	61.2	64.4	18-3
	6,000		(3)210	764	52.5	63.9	68.3	74.0	
CU	630	6.35	41	107	10.9	13.3	14.3	15.5	18-.1
	800		41	107	10.9	13.3	14.3	15.5	
	1,000		57	123	13.9	17.2	18.6	20.3	
	1,250		73	139	16.9	21	22.9	25.1	
	1,600		108	174	24.4	29.5	32.4	35.6	
	2,000		145	211	30.3	39.5	42.3	46.7	
	2,500		195	261	39.6	50.7	55.8	61.6	
	3,200		(2)108	316	48.8	59	64.7	71.2	18-2
	3,600		(2)126	352	53.6	67.6	74.4	82.0	
	4,000		(2)145	390	60.6	79	84.7	93.4	
	5,000		(2)195	490	79.2	101.4	111.6	123.3	
	6,000		(3)145	569	90.9	118.5	127.0	140.0	18-3
	7,500		(3)195	719	118.8	152.1	167.5	184.9	

※H : 107.5(3W+GE, 3W+50%E) / 115(4W+GE, 4W+50%E) / 125(4W+100%E)

جدول 2-6

كما أن هناك جداول خاصة بالمقاومة والهبوط فى الجهد Voltage drop، وتحمل تيار الـــــــ Short circuit تماما كما فى حالة الكابلات. والجداول التالية تمثل نماذج لمنتج من إحدى الشركات.

Aluminum Bus Bar

Table 33-1

AMP Rating	Impedance x 10⁻³ Ω/100m, 60Hz			Voltage Drop(/100m)							
	R	X	Z	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
630	13.98	4.07	14.56	8.82	10.17	11.48	12.71	13.85	14.87	15.66	15.25
800	7.97	2.62	8.39	6.77	7.74	8.66	9.53	10.32	11.01	11.52	11.04
1,000	6.83	2.21	7.18	7.21	8.25	9.24	10.17	11.02	11.77	12.32	11.84
1,250	5.55	1.82	5.84	7.36	8.41	9.41	10.35	11.22	11.97	12.52	12.01
1,600	3.82	1.23	4.02	6.43	7.36	8.25	9.09	9.85	10.52	11.02	10.60
2,000	3.08	1.00	3.24	6.52	7.46	8.35	9.19	9.96	10.63	11.12	10.67
2,500	2.40	0.80	2.53	6.41	7.32	8.18	9.00	9.74	10.39	10.86	10.40
3,200	1.91	0.61	2.00	6.41	7.34	8.22	9.05	9.82	10.48	10.98	10.56
3,600	1.72	0.55	1.81	6.52	7.46	8.36	9.21	9.99	10.67	11.18	10.74
4,000	1.54	0.50	1.62	6.50	7.43	8.32	9.16	9.93	10.60	1.09	10.64
5,000	1.15	0.37	1.21	6.03	6.90	7.74	8.52	9.24	9.87	10.34	9.94
6,000	1.02	0.33	1.08	6.49	7.43	8.32	9.15	9.92	10.58	11.08	10.63

Copper Bus Bar

Table 33-2

AMP Rating	Impedance x 10⁻³ Ω/100m, 60Hz			Voltage Drop(/100m)							
	R	X	Z	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
630	7.49	4.07	8.53	6.69	7.34	7.94	8.46	8.90	9.21	9.30	8.18
800	7.49	3.84	8.42	8.20	9.04	9.80	10.49	11.07	11.50	11.67	10.38
1,000	5.49	2.99	6.25	7.79	8.55	9.24	9.85	10.35	10.72	10.82	9.52
1,250	4.39	2.45	5.03	7.91	8.66	9.34	9.94	10.44	10.78	10.86	9.50
1,600	3.10	1.71	3.54	7.09	7.77	8.39	8.94	9.40	9.72	9.80	8.60
2,000	2.40	1.35	2.76	6.96	7.61	8.21	8.73	9.17	9.46	9.53	8.32
2,500	1.86	1.05	2.13	6.73	7.37	7.95	8.45	8.87	9.16	9.22	8.06
3,200	1.54	0.85	1.76	7.05	7.73	8.35	8.89	9.34	9.66	9.75	8.55
3,600	1.35	0.74	1.54	6.94	7.61	8.22	8.75	9.20	9.51	9.60	8.42
4,000	1.20	0.67	1.37	6.93	7.58	8.18	8.70	9.13	9.42	9.49	8.29
5,000	0.93	0.52	1.06	6.71	7.35	7.92	8.43	8.84	9.13	9.19	8.03
6,000	0.80	0.45	0.91	6.92	7.57	8.17	8.69	9.11	9.41	9.48	8.28
7,500	0.62	0.35	0.71	6.71	7.34	7.91	8.42	8.83	9.12	9.18	8.02

1) $\text{Actual Voltage Drop} = \alpha \times Vd \times \dfrac{\text{Actual load current}}{\text{Rated load current}} \times \dfrac{\text{Actual distance(m)}}{100\text{m}}$

2) α (Load Distribution Constant
- i) α = 1, Concentrated load
- ii) α = 0.5, Distributed load

Short Circuit Ratings of Phase to Phase(kA)

Table 34

AMP Rating	Aluminum		Copper	
	1 sec	3 sec	1 sec	3 sec
630	24	14	36	21
800	42	24	36	21
1,000	50	29	51	29
1,250	62	36	65	37
1,600	95	55	95	55
2,000	121	70	129	75
2,500	132	76	150	107
3,200	169	97	191	110
4,000	200	140	200	149
5,000	200	150	200	200
6,000	200	150	200	200
7,500	-	-	200	200

الجزء الثالث:

المجموعة الثالثة : أجهزة الحماية الكهربية

جميع دوائر التمديدات معرضة لحدوث قصر Short Circuit نتيجة انهيار العازل فى الكابلات مثلا أو نتيجة قطع في الكابلات مصاحبا بحدوث تلامس بين أسلاكه، وكل هذه الاحتمالات ستؤدي حتما إلى حدوث ارتفاع كبير في التيار قد يتسبب في احتراق الكابل، وربما لوحة التوزيع كلها أن لم يتم فصل التيار بسرعة. و الأجهزة المسئولة عن اكتشاف الارتفاع في التيار و فصله فى معظم دوائر التمديدات الكهربية هى القواطع الـ Circuit Breaker CB)) ، و سنستعرض هنا أبرز سمات القواطع الكهربية.

12-2 توصيف الـ CIRCUIT BREAKERS

تتحدد أهم مواصفات الـ CB عادة (بعد تحديد قيمة الـ Rated Voltage) بتحديد قيمتين هامتين (هناك مواصفات أخرى في نهاية هذا الجزء) :

- Rated Current ، I_{rated} (Amp)
- Short Circuit Capacity ،SCC (kA)

فالأولى تحدد قيمة أقصى تيار يمكن أن يمر فى الـ CBباستمرار Continuously دون أن يتسبب فى فصل الـ CB، وتقاس بالأمبير. ولها قيم قياسية Standard معروفة، وهى (بالأمبير):

6 ،10 ،15 ،16 ،20 ،25 ،32 ،40 ،50 ،63 ،100 ،125 ،150 ،163 ،200 ،225 ،250 ، 300 ،400 ،500 ،630 ،800 ،1000 ،1200 ،1500 ،1750 ،2000 ،2200 ،2500 ، 3000 ،3200 ،4000 ،5000 ،6300.

أما القيمة الثانية التى تحدد مواصفات الـ CB فهى قيمة سعة القصر Short Circuit Capacity SCC، وتقاس بـ (kA)، ويقصد بها أقصى قيمة للتيار يمكن أن يتحملها الـCB أثناء القصر Short Circuit دون أن يحترق، وهى قيم عالية بالطبع. لاحظ أن المقصود أن يتحملها الـ CB لمدة وجيزة جدا تقاس بالثانية، ولا تتعدى ثوانى معدودة، وليس المقصود بالطبع أن يتحملها لمدة طويلة.

وأشهر القيم القياسية لـ Short Circuit Capacity (مقاسة بـ kA) هى:

3 ،6 ،10 ،15 ،22 ،35 ،50 ،75 ،80 ،100. (kA)

مثال :6-2

ما المقصود بـ CB مكتوب عليه 10kA، 25A ؟

الحل:

أما الـ 25A فتسمى التيار المتقن Rated Current، و أما الـ 10kA فهى قيمة الـSCC لهذا الـ CB، ومن ثم فهذا الـــ CBيمكن أن يتحمل أى تيار أقل من 25A دون أن يفصل الدائرة، فإذا زاد التيار عن 25A لكنه أقل من 10kA فإن الـــ CB سيفصل إما بعد مدة زمنية طبقا للمنحنى، أو سيفصل لحظيا إذا كان تيار القصر قريبا من 10 kA وبالتالى يمكن أن نعيد تشغيل الـــ CB مرة أخرى. أما إذا ارتفع تيار العطل لقيمة أعلى من 10kA فإن الـ CB سيحترق ولا يمكن إعادة استخدامه مرة أخرى.

لاحظ أن سعر الـ CB يتوقف أساسا على قيمة سعة القصر التى يتحملها، فالفرق فى السعر بين CB تياره المقنن يساوى 10A و CB آخر تياره المقنن يساوى 63 A مثلا، فربما لا يكون كبيرا، ولا يتعدى عشرات الجنيهات، أما الفرق فى الســعر بين CB تياره 100A وله ســعة قصــر 10kA وبين آخر تياره المقنن 100A لكن له سعة قصر تساوى 100 kA فإنه قد يصل إلى آلاف الجنيهات.

2-12-1 نقاط أخرى لتوصيف القواطع (Industrial CBs)

Rated peak withstand current Ipk:

أقصى تيار طبيعى يتحمله القاطع تحت شروط خاصة للاختبار.

Rated Ultimate Breaking Capacity Icu:

أقصــــى تيار عطل يمكن للقاطع أن يفصـــله دون أن يحدث له damage، ويرمز لها بالرمز (I_{cu}) في حــــالة الـ industrial CBs، بينما يرمز لها بالــرمز (I_{cn}) في حالة النوع المعروف بالـ -domestic type CBs.

Rated Service breaking Capacity Ics:

تمثل نسبة من I_{CU} بقيمة من القيم التالية: 25، 50، 75، .100%، وذلك فقط لـ industrial circuit-breakers. حيث تتغير الـ Breaking Capacity حسب التحميل وذلك لحدوث تغير في الدائرة الداخلية للقاطع.

Rated short-time withstand current Icw:

أقصى تيار قصر يتحمله القاطع تحت ظروف اختبار يحددها المصنع ولمدة غالبا ثانية واحدة.

2-13 أنواع الـ CBs

فى البداية نشير إلى أن هناك عدة أنواع من الـ CBs يكثر استخدامها فى التمديدات الكهربية، فهناك نوع يستخدم مع الجهود المتوسطة وهو النوع المعروف بـ Power Circuit Breakers، و يستخدم فى وقاية دوائر الجهد المتوسط والمرتفع، ويكون دوره هو فصل الدوائر فقط بناء على أوامر من جهاز منفصل لاكتشاف الأعطال وهو الـ Relay. و تكون إما Vacuum CB، أو Air CB، أو SF6.

أما الأنواع المستخدمة فى شبكة الجهد المنخفض فتختلف عن النوع السابق فى أنها تعتبر Relay و CB فى نفس الوقت. ويمكن تقسيمها إلى أربعة أنواع:

- الأول : ويسمى Miniature Circuit Breaker و اختصارا MCB
- الثاني : ويسمى Molded Case Circuit Breaker واختصارا MCCB
- الثالث : ويسمى Air Circuit Breaker واختصارا ACB
- الرابع : ويسمى Ground Fault Circuit Breaker و اختصارا GFCB

كما يوجد جهاز مختلف عنهم فى التصميم، لكنه يتشابه معهم فى الوظيفة وهو الـ Fuse.

والفرق الأساسى بين الأنواع الثلاثة الأول هو فى القدرة على تحمل تيارات القصر Short Circuit. وفى شكل 2-34 حدود الـ Rated Current التى يصنع عليها الأنواع الثلاثة الأولى.

أما النوع الرابع فيستخدم للحماية من الصدمات الكهربية الناتجة عن تسرب التيار.

Circuir Breaker Ratings

10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	CB (A)
MCB															ACB											
	MCCB																									

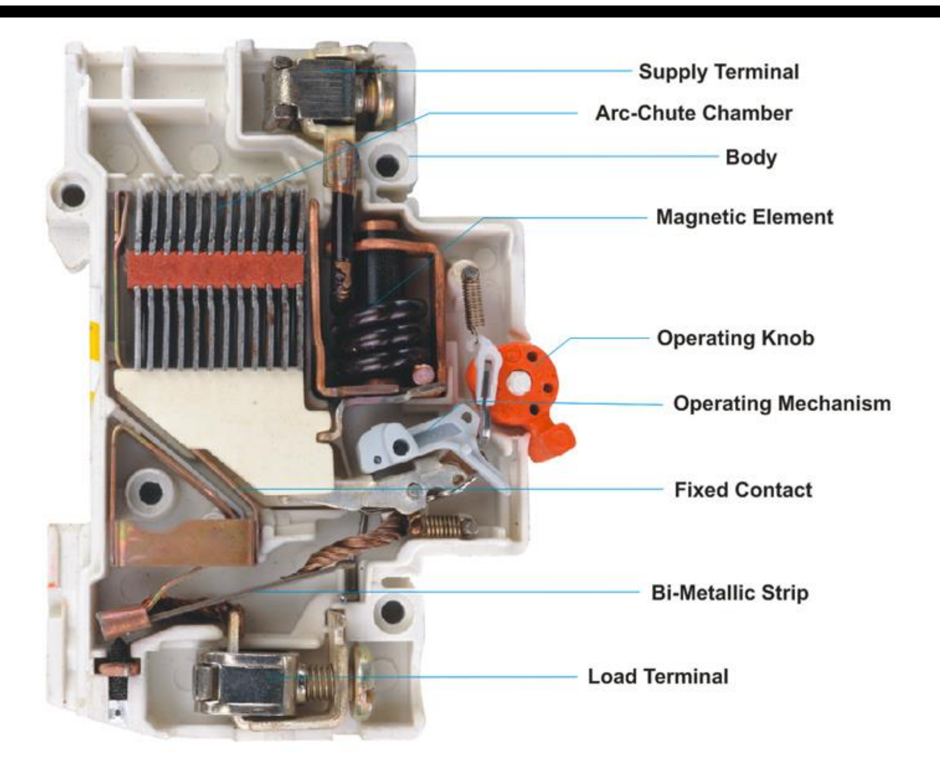
شكل 2-34

2-13-1 الـنـوع الأول: MCB

في شكل 2-35 يظهر فيها نوعان لهذه الــ CBs، أحدهما يستخدم مع دوائر الــ 3-phase، والآخر مع دوائر الـ phase -1. كما يظهر التركيب الداخلى له، وتتضح فيه عنصرى الحماية الرئيسيين : الأول هو الــ magnetic trip للأعطال العالية، والثاني هو thermal bimetal strip لفصل الأعطال ذات التيار المنخفض والمستمر لمدة طويلة.







شكل 2-35

وفى حالة الـــــ MCB، تتحدد العلاقة بين تيار العطل (مقاسا بمضاعفاته من التيار المقنن I_{Rated})، وبين زمن الفصل Trip Time (مقاسا بالثوانى) من خلال منحنيات فئات ثلاثة. و يوضـــــــــــح المخطط في شكل 2-36 هذه الفئات الثلاثة، وهي B، C، D طبقا للمواصفات القياسية العالمية IEC Standard مع بعض البيانات الخاصة بها.

يمكن ملاحظة أنه قبل 113% من تيار الحمل الكامل فلن يعمل أي قاطع من الفئات الثلاثة وهي ما سوف نسميه المنطقة I وتقع يسار كل المنحنيات.

تأتي بعد ذلك المنطقة الثانية II وهي منطقة تشـــغيل Thermal Protection وتبدأ من 113% وتنتهي مع بداية المنطقة الثالثة III.

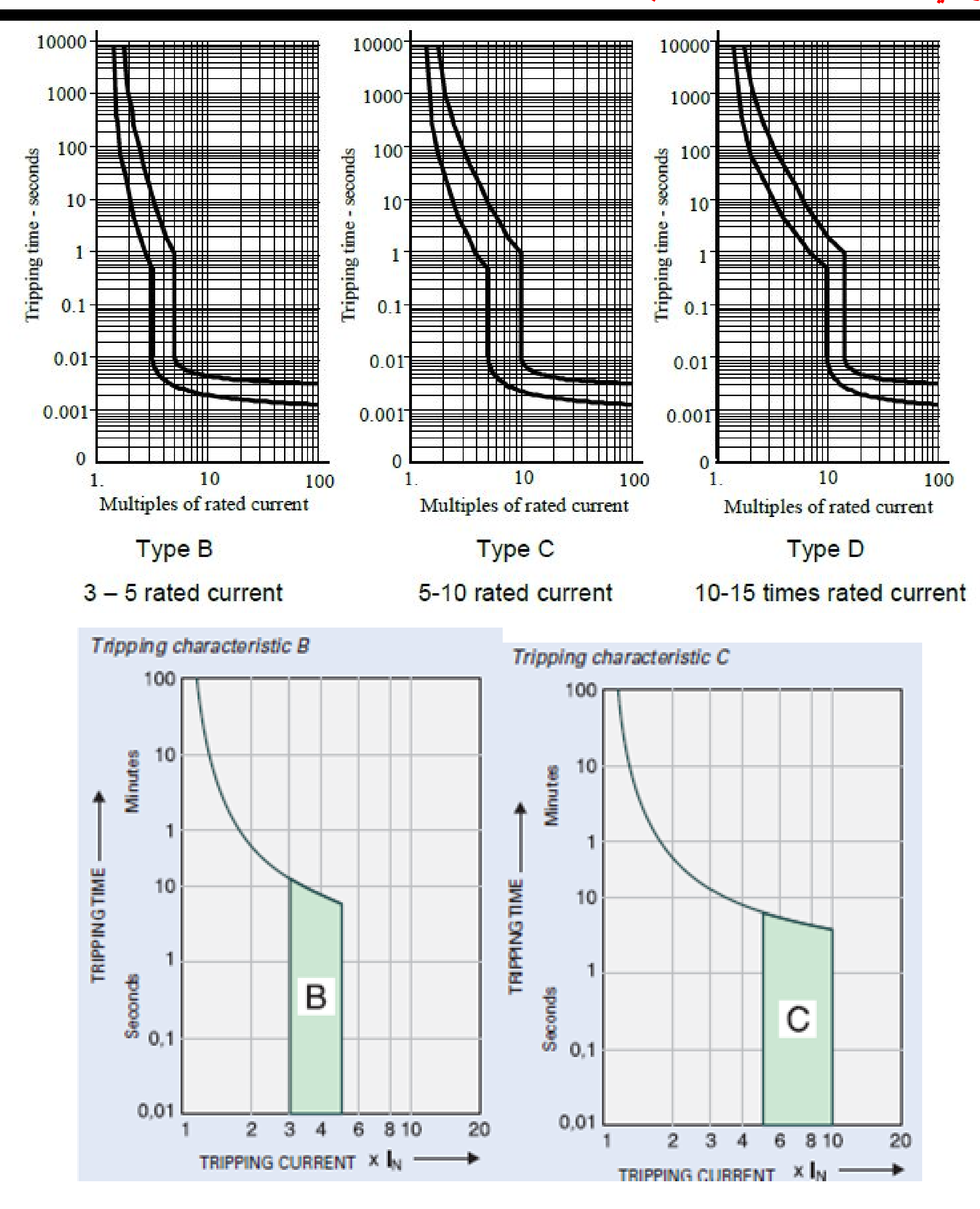
والمنطقة الثالثة فتمتد من يمين المنطقة الرأسية حتى تصل إلى قيمة أقصى تيار قصر يمكن أن يتحمله القاطع وهي قيمة الـــــــــ (SCC)، وخلال هذه المنطقة الثالثة (التي تسمى "منطقة الفصل اللحظي Instantaneous trip" أو الفصل المغناطيسي يفصل الـــ CB لحظيا وليس بناء على قيم زمنية مختلفة كما فى المنطقة الثانية.

أما إذا مر تيار خلال الـ CB وكانت قيمته أعلى من الــ SCC فإن الــ CB يحترق فورا، ولا يمكن إعادة استخدامه مرة أخرى.

وتختلف البدايات والنهايات باختلاف نوع الفئة على النحو التالي:

- حدود التشغيل للـــ Trip المغناطيسي للفئة B تتراوح بدايته بين 3 إلى 5 أضعاف التيار المقنن وهذا النوع يتناسب مع أحمال المقاومة Resistive loads كأحمال السخانات ولمبات التنجستين وغيرهما من الأحمال المشابهة.
- أما حدود التشغيل للـــ Trip المغناطيسي للفئة C فتتراوح بدايتها بين 5 إلى 10 أضعاف التيار المقنن وهو ما يتناسب مع الأحمال الحثية Inductive Loads مثل أحمال المحركات والمكيفات ولمبات الفلوريسنت.
- وأخيرا، حدود التشغيل للـــ Trip المغناطيسي للفئة D يتراوح بين 10 إلى 15 أضعاف التيار المقنن وهو ما يتناســب مع الأحمال ذات المحاثة العالية Highly Inductive Loads مثل أحمال المحولات أو ماكينات اللحام الكهربى.

و البعض قد يظن أن الـــ CB الذى له I_{rated} تساوى 20 أمبير مثلا سوف يفصل فى التو بمجرد أن يمر تيار أزيد ولو بقليل من 20 أمبير، وبالطبع هذا التصور خاطئ. فهناك كما هو واضــــــح من شكل 2-36 منحنى يحدد زمن هذا الفصل، والزيادة الطفيفة الأعلى من I_{rated} ربما يشعر بها القاطع بعد مرور عدة دقائق وليس لحظيا.



شكل 2−36

ملاحظات:

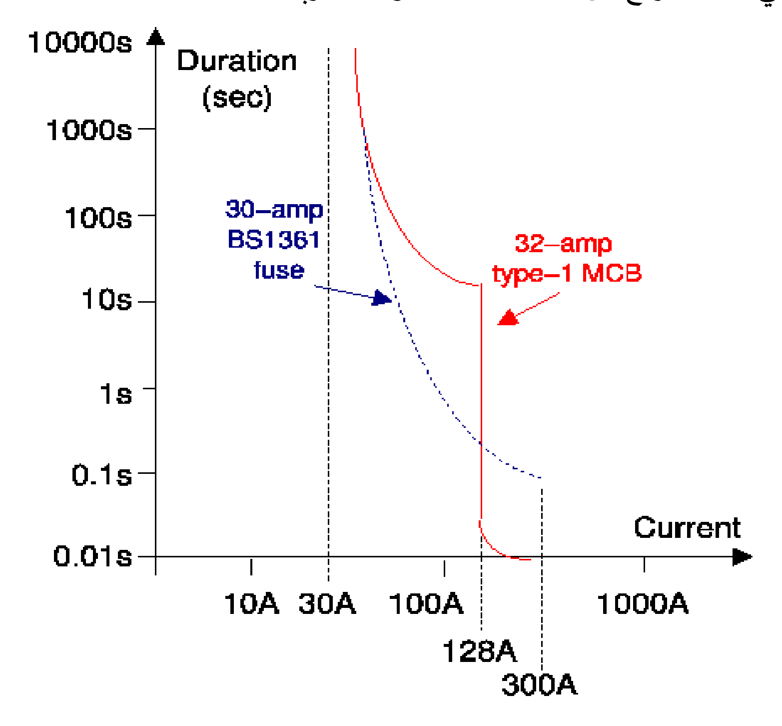
1. المواصفات تنص على تشغيل الفئة في حدود معينة (مثال الفئة B تعمل بين 3:5 من التيار المقنن) فهل معنى ذلك أن مرور تيار بقيمة أعلى من 5 أضعاف لن يفصل القاطع؟ هذا مفهوم شائع وخاطئ، فالمقصود بهذه الحدود هو فقط بداية منطقة الـ Trip المغناطيسى، فإذا تجاوز تيار العطل

هذه القيمة فإن القاطع يفصل لحظيا مهما كانت القيمة طالما أنها أقل من قيمة الـ SCC وهى أقصى قيمة يتحملها القاطع قبل أن يحترق.

2. وبالطبع قد تسأل : لماذا الفئة الواحدة تحتوي على منحنيين؟ ومتى سيفصل القاطع على الزمن في المنحنى السفلي أم العلوي؟ بالطبع لا يمكن لأى شركة أن تزعم أن القاطع الذى تنتجه سيفصل تحديدا عند قيمة 7 أمثال التيار مثلا، فتحديد هذا يعتبر مستحيلا لأن هناك عوامل كثيرة متغيرة فى ظروف التشغيل، ولذا تحدد المواصفات مدى معين يمكن أن يقع الفصل فى خلاله.

3. فى بعض التطبيقات ربما يستخدم الفيوز بدلا من الـ CB لرخص ثمنه مقارنة بالـ CB، وأيضا لتقارب منحنيات التشغيل لهما كما هو واضح فى شكل 2-37 الذى يظهر مقارنة بين CB له تيار مقنن 32 أمبير وبين فيوز بقيمة 30 أمبير.

4. لاحظ أنه فى الفترة التى تسبق منطقة الـ Instantaneous Trip الخاصة بالـ CB يكون الفيوز أسرع فى فصل العطل، بينما يكون القاطع أسرع بعد هذه المنطقة. لكن بالطبع يتميز القاطع بأنه يمكن إعادة تشغيله بسهولة، بينما يحتاج الفيوز إلى استبداله بعد كل عطل. بالإضافة إلى فروقات أخرى يرجع إليها في الباب الرابع من كتاب هندسة القوى الكهربية.



شكل 2-37

2-13-2 النوع الثاني: MCCB

هذا النوع أعقد فى تركيبه من MCB، ويستخدم غالبا فى حماية دوائر التغذية الرئيسية. ويتميز هذا النوع بأنه أكبر حجما من الـ MCB نظرا لقدرته على تحمل تيارات القصر العالية كما فى شكل 2-38.

وهذا النوع يتميز عن النوع السابق بالمرونة الواسعة فى مجال ضبط العلاقة بين زمن الفصل وقيمة تيار العطل مقارنة بالـ MCB المحدد القيمة. و يوجد من الـ MCCB أكثر من فئة، حيث تختلف الفئات فيما بينها فى سعة القصر ومدى المرونة فى الضبط. وعموما، فكلما كبرت سعة القصر كلما زود الجهاز بمرونة أكبر، فالفئة التى تظهر على سبيل المثال فى شكل 2-38 تستطيع من خلالها تغيير (I_{mag}، $I_{Thermal}$) ، بينما هناك فئات أخرى يمكن تغيير متغيرات أقل أو أكثر حتى نصل إلى فئة الـ ACB التالية التي يمكن فيها تغيير ستة متغيرات من قيم الضبط كما سنرى.



شكل 2-38

فى هذا النوع، والنوع الذى يليه فإن تيار القاطع يكون له قيمتان : الأولى تسمى Frame Size Rating والثانية تسمى Trip current. وهذا يعنى أن القاطع الواحد يمكن ضبط الـــ Setting الخاص به ليتم فصل التيار إذا تجاوز أكثر من قيمة. على سبيل المثال فالقاطع NSX630N الخاص بشركة شنايدر له قدرة Frame Size قدرة 630 أمبير كما هو واضح من الاسم، لكن بداخله Electronic circuits–11 تجعل من الممكن ضبطه ليكون قادرا على فصل التيار إذا تجاوز القيم التالية :

150–200–250–300–350–400–450–500–550–600–630

لاحظ أن الـــ Frame Size فقط هو الذى يكتب على القاطع. أما أوراق التصميمية للمشروع فقد يظهر عليها الرقمان. على سبيل المثال إذا وجد CB في مشروع ما مكتوب عليه 630/450 A فهذا يعنى أن الـ Frame size له يساوى 630A لكنه سيضبط في هذا المشروع على 450A.

2-13-3 النوع الثالث : ACB

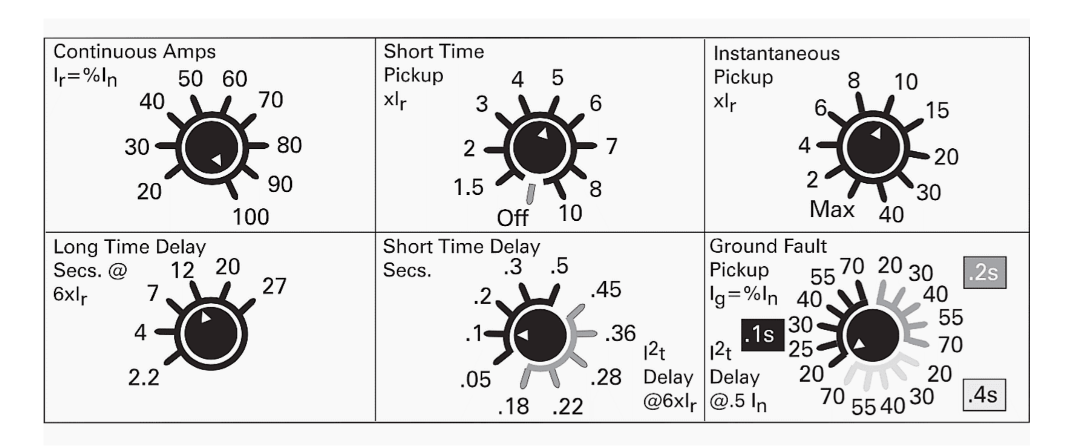
هذا النوع يظهر فى شكل 2-39. وأهم الأجزاء في القاطع تظهر مع الأرقام التالية:

1. OFF button (O)
2. ON button (I)
3. Main contact position indicator
4. Energy storage mechanism status indicator
5. Reset Button
6. LED Indicators
7. Controller
8. “Connection” ،“Test” and “isolated” position stopper (the three-position latching/locking mechanism)
9. User-supplied padlock
10. Connection “ ،” Test “and” separation “of the position indication
11. Connection (CE) Separation ،(CD) Test (CT) Position indication contacts
12. Rated Name Plate
13. Digital Displays
14. Mechanical energy storage handle
15. Shake (IN/OUT)
16. Rocker repository
17. Fault trip reset button



شكل 2-39

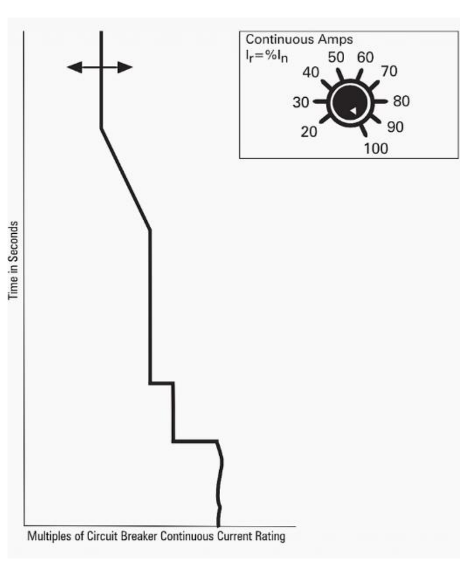
فى هذا النوع تستطيع يدويا تغيير متغيرات عديدة تخص الـ Trip Unit الخاصة بالقاطع كما في شكل 2-40.



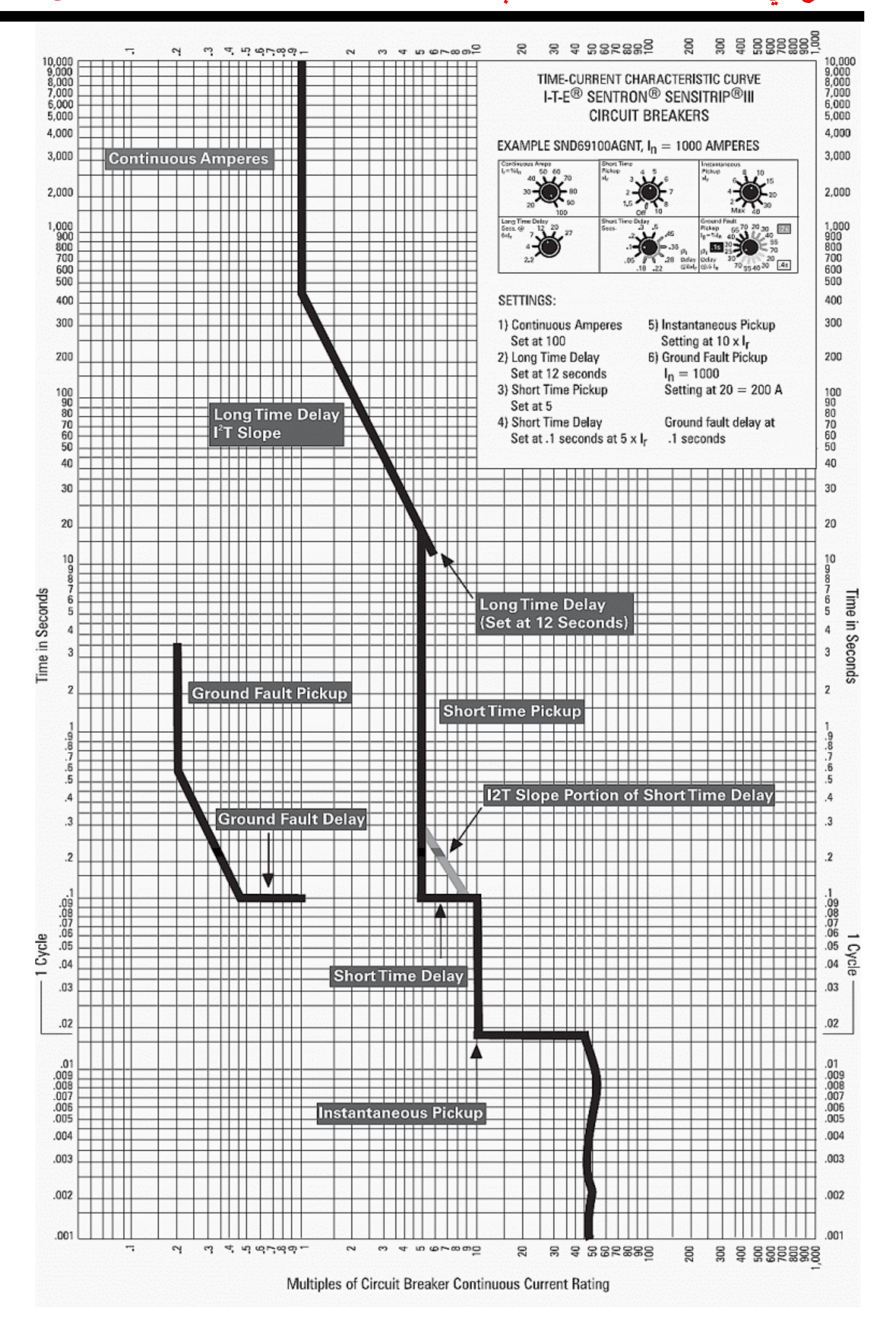
شكل 2-40

والعلاقة بين تيار القاطع وزمن الفصل في الـــــــ ACB يمكن التحكم فيها كما في شكل 2−41. و هذا الشكل يتكون من عدة أجزاء يمكن من خلالها ضبط العديد من المتغيرات كما يلى:

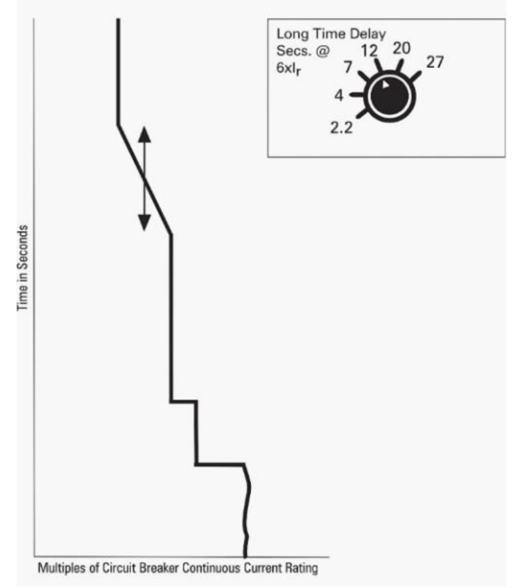
1. **ضبط الـ (Long Delay Pickup Value):**



يتم فى الجزء الأول من المنحنى ضبط قيم الـ Continuous Current التي سيضبط عليها الجهاز، وتبدأ بعدها في عمل Pickup إذا تجاوز التيار المار هذه القيمة لتدخل في مرحلة الـــــ Long Delay التالية. وعادة تزود هذه المفاتيح بإمكانية لضبط التيار بنسب تتراوح بين 20% إلى 100% من القيمة الاسمية للـــــ CB فمثلا المفتاح 600A يمكن ضبطه ليعمل على قيمة تبدأ من 300A إذا وضع المؤشر على 0.5.


TIME-CURRENT CHARACTERISTIC CURVE
I-T-E® SENTRON® SENSITRIP®III
CIRCUIT BREAKERS
EXAMPLE SND69100AGNT, In = 1000 AMPERES
SETTINGS:
1) Continuous Amperes
Set at 100
2) Long Time Delay
Set at 12 seconds
3) Short Time Pickup
Set at 5
4) Short Time Delay
Set at .1 seconds at 5 x Ir
5) Instantaneous Pickup
Setting at 10 x Ir
6) Ground Fault Pickup
In = 1000
Setting at 20 = 200 A
Ground fault delay at
.1 seconds
Continuous Amperes
Long Time Delay
I²T Slope
Long Time Delay
(Set at 12 Seconds)
Ground Fault Pickup
Short Time Pickup
I2T Slope Portion of Short Time Delay
Ground Fault Delay
Short Time Delay
Instantaneous Pickup
Time in Seconds
1 Cycle
Multiples of Circuit Breaker Continuous Current Rating

شكل 2-41



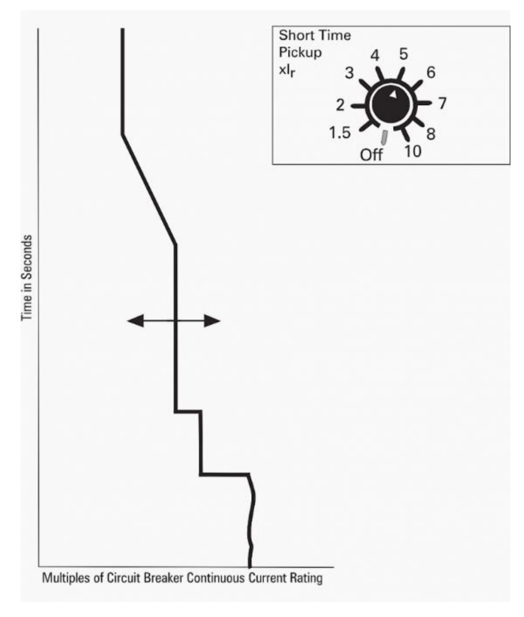
2. ضبط الـ (Long Delay Time):

الجزء الثاني يسمى (LD) (Long Delay Time) وهو الجزء الخاص بفصل الأعطال ذات التيار المنخفض، والتى يمكنه تحملها لمدة طويلة نسبيا (تصل إلى عدة ثوانى). ويمكن ضبط الميل الخاص بهذ الجزء للتحكم في الزمن.

أيضا تزود هذه المفاتيح بعدة اختيارات لزمن الفصل فى مرحلةLD ، و القيم المتاحة على المفتاح هى (2.2، 4، 12، 20، 27، ثانية)، بمعنى أنه يمكنك ضبط المفتاح 600A ليفصل الدائرة إذا مر فيه تيار أعلى من 600 أمبير وذلك بعد 4 ثوانى أو 12 ثانية... وحتى 36 ثانية حسب اختيارك.

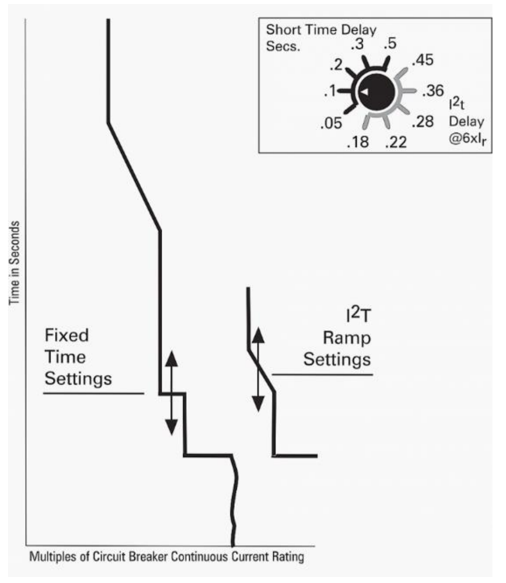
وحيث أن تيار العطل يمكن أن يتجاوز Rated Value بدرجات متفاوتة، فقد اتفق على أن زمن الضبط الذى يتم اختياره يقابل تحديداً 6 أمثال القيمة الاسمية للـRated value للمفتاح، بمعنى أنه إذا اخترنا أن نضبط المفتاح 600A على 4 ثوانى مثلا، فإنه سيفتح بعد 4 ثوانى بالضبط إذا مر به 3600 أمبير، ولكن هذا الزمن سيختلف قليلا إذا مر به مثلا 4 أمثال أو 7 أمثال القيمة الاسمية للمفتاح.

3. ضبط I_{Pickup} فى حالة (Short Delay Time)



لدينا بعد ذلك الجزء الثالث وهو يختص بأعطال الـ (SD) (Short Delay Time)وهى الأعطال الخطرة التى يتم فصلها فى زمن قصير جداً (يقاس بـــ ms). وهو العمود الأيمن الرأســـي الأول رأســـيا. وتزود هذه القواطع بإمكانية ضبـــطها على قيم (1.5، 2، 3، 4 6 7، 8، 10)، أمثال القيمة الاسمية للقاطع.

4. ضبط زمن الـ Short Delay Time)



أما الجزء الرابع فيتم من خلاله ضبط زمن فصل الـ (SD) (Short Delay Time)الخاص بأعطال الجزء الثالث كما ذكرنا.

يتم اختيار قيمة من بين القيم المتـــــــــــــــــاحة تتراوح بــــــــين (0.05 : 0.5 ثانية). ويكون هذا الزمن هو الزمن الدقيق تماما عند مرور تيار يســـاوى تحديداً مرتين ونصـــف من القيمة التى ضـــبط عليها I_{pickup} الخاص بـ Short delay والذى تم اختياره كما سبق. بمعنى لو ضبط الـ SD ليعمل بدءا من 5 أمثال قيمة الـ Rated وتم ضبط زمن فصـــله ليكون 0.3 ثانية، فهذا يعني أنه عند مرور 9000 أمبير (2.5 X 3000) فسيتم فصل الـــ CB بعد زمن قدره 0.3 ثانية بالضبط. (بعض الشركات تعتبر القيمة الحقيقة هي 6 أمثال وليس مرتين ونصف).

5. **ضبط الـ Instantaneous**

بالمثل يتم ضبط هذا الجزء على قيمة تتراوح بين 2–40 مرة من قيمة التيار الأصلى، أما زمن الفصل فهو لحظى.

لاحظ وجود منحنى خاص بالــ Ground Faults على يسار المنحنى الأصلى في الشكل 2–42، وفكرة عمله أنه يعمل على مجموع التيارات الثلاثة، والأصــل أن هذا المجموع يســاوى صــفرا، ولذا فأهم ما يميزه هو أن قيم الضبط تكون دائما أقل من 1، وهو حساس حتى للأعطال المنخفضة القيمة.

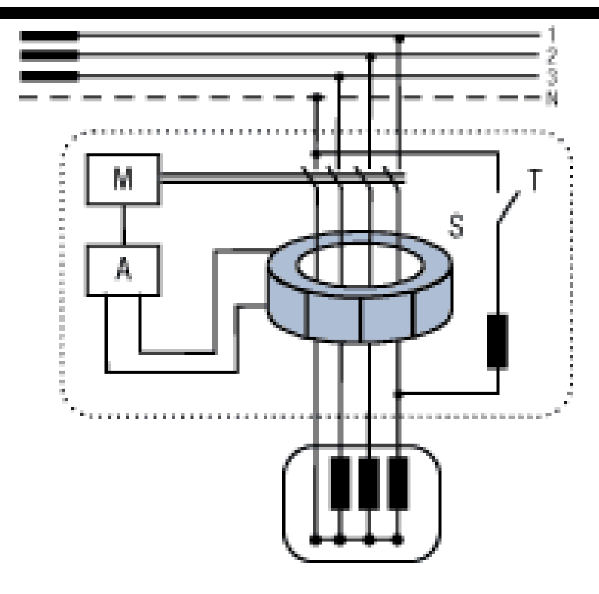
2-13-4 النوع الرابع: GFCB

ويسمى هذا القاطع بالـ Ground Fault CB، ويسمى أيضا

Residual Current Detector(RCD)، ويسمى أيضا Earth Leakage CB، ELCB

ويسمى أيضا Ground Fault Interrupter، GFI

وهذا النوع يستخدم للحماية من التيار المتسرب إلى الأرض فى التمديدات الكهربية، حيث تعتمد فكرة عمله على مقارنة قيمة التيار الداخل إلى الدائرة (تيار الــ Phase فى حالة دوائر الــ 1– phase، أو مقارنة مجموع التيارات الثلاثة فى دوائر الـ 3–Phase بقيمة التيار الخارج منها (التيار فى الـ Neutral) كما فى شكل 2–42، فإذا حدث فرق بين التيار الداخل والخارج فذلك دليل على حدوث تسـرب للتيار خارج الدائرة الأصلية وهذا الفرق البسيط سيسبب ظهور فيض (flux) في الحلقة المعدنية الداخلية، وهذا الفيض سيقطع ملف داخلى مسـببا قوة مغناطيسـية تفتح الدائرة. فإذا كان هذا الفرق فى التيار أكبر من قيمة محددة تسـمى "حساسية الجهاز" Sensitivity، فإن القوة المغناطيسية M المتولدة تكون كافية لفصل الـ GFCB الرئيسي للوحة، ومن ثم فصل الدائرة و إيقاف التسريب. (أحيانا في اللوحات الكبيرة يكتفى بتركيب الـ GFCB على الدوائر التي ترتبط بالماء بشكل معين مثل دوائر الحمامات والمطابخ فقط وليس على كل اللوحة).



شكل 2-42

لاحظ في الشـــكل 2-42 إنه فى الظروف الطبيعية عندما يكون مجموع التيارات فى الأوجه الثلاثة (المقصود بالطبع هو المجموع الاتجاهى) مساويا للتيار الراجع فى الـ Neutral فإن الفيض الناشئ داخل الحلقة المغناطيسية S يساوى صفرا، ومن ثم فالـــ Circuit المغذاة من الـــCB أسفل الحلقة S ستظل Closed. أما إذا حدث أي فرق بينهم أكبر من الحساسية فسيتم فتح هذه الدائرة.

ويتم توصيف الجهاز فى الأساس بناء على قيمة الحساسية للتيار المتسرب. وأشهر قيم الحساسية فى السوق هى 5mA، و30mA والأجهزة من الفئة الأولى (5mA) غالية الثمن جدا، لذا لا تستعمل إلا مع المواصفات العالية فقط، أما الفئة الثانية (30mA) فهى التى تستخدم فى الشقق السكنية. وهناك أيضا فئة ثالثة (300mA) وهى تصلح فقط لاكتشاف التسريب الأرضي فى الأجهزة المعرضة بطبيعتها للرطوبة مثل أجهزة التكييف فوق السطوح، و من ثم فهى ليست لحماية البشر، حيث أن التيار الكهربى بقيمة 300mA يكون كافيا لصعق إنسان بل وحرقه كما سيتم تفصيله في الفصل السادس.

ويزود الجهاز عادة بمفتاح Test للاختبار T وهو عبارة عن Push Button موصل على التوالي بمقاومة كبيرة كما فى شكل 2-43، فإذا ضغطنا على هذا المفتاح فإننا فى الواقع نقوم عمدا بتسريب جزء صغير من تيار أحد الـ Phases الثلاثة، وعندها سيقوم الجهاز بفصل الدائرة إذا كان بالفعل جاهزا. والشكل تمثل نموذجا لأحد الأنواع وله حساسية قدرها 0.03A ويتحمل تيار مقنن قدره 63A.

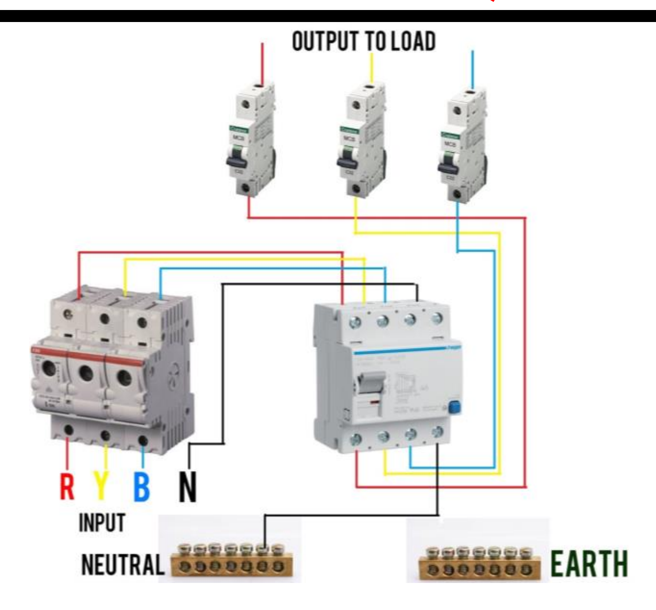


شكل 2-43

ويتم توصيف هذه الأجهزة أيضا طبقا لقيمة الـــ Rated Current الذى يمكن أن يتحمله الجهاز طوال الوقت وأشهر هذه القيم 32، 40، 63، 100 أمبير.

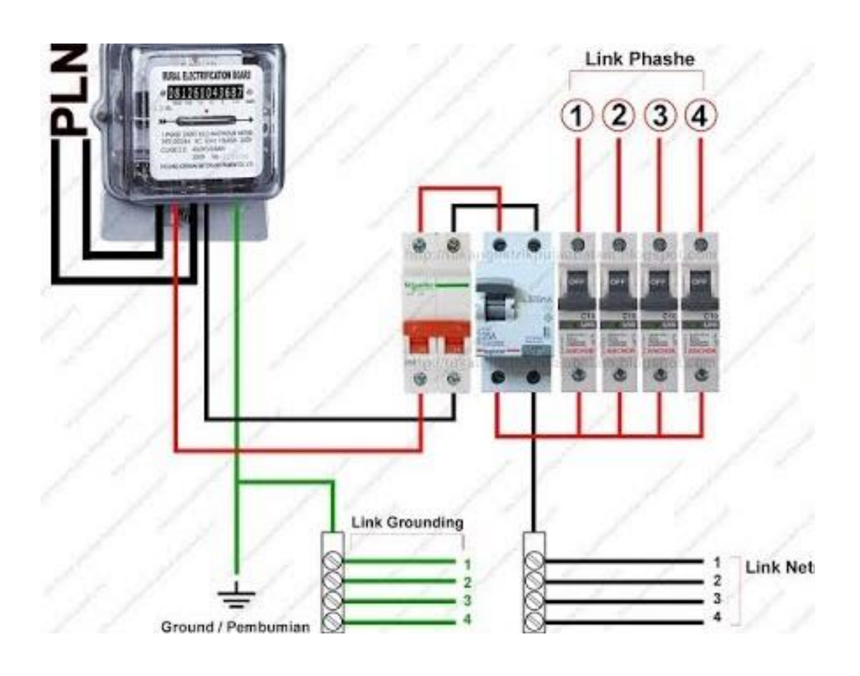
مع ملاحظة أن بعض هذه الأجهزة تؤدى نفس وظيفة الـــ MCB فى الحماية ضد الـــ Short Circuits بالتوازي مع أداء دورها فى الحماية ضد التسريب، والبعض الآخر منها يستخدم للحماية ضد التسريب فقط ومن ثم تحتاج لوجود CB آخر لحماية الدائرة من القصر.

يتم توصــيل هذا الجهاز على التوالى مع القاطع الرئيســي داخل لوحة التوزيع الفرعية ســواء في حالة 3- phase كما هو واضح فى شكل 2-44.



شكل 2-44

أو في حالة الـــــــــ Single phase كما في شـكل 2-45. وبالتالي فيمكن لأى منزل غير مزود بهذه الخاصية أن يضيفها في لوحة التوزيع بشرط وجود مساحة لوضع هذا الـــــــ GFCB الجديد، ثم تعديل التوصيلة كما في الشكل.



شكل 2-45

14-2 قراءة الـ NAME PLATE لقواطع الجهد المنخفض

من أهم المهارات التى يجب أن يتحلى بها مهندس التركيبات قدرته على فهم مفردات الـ Name Plate الخاصة بالعناصر المختلفة. ومنها الـ Circuit Breaker.

ويمكن تلخيص أهم المعلومات التى تظهر على الـ Name Plate فيما يلى:

- Max Current Rating
- Breaking Capacity Type
- Breaking Capacity (Max Short Circuit Current)
- Operating Voltage(230V ،400V ،440V)
- Tripping Curve Type
- Energy Class
- ON-OFF Indication

وفيما يلى تعريف بأهم هذه المفردات والتى تظهر فى شكل 2-46:

1. **Model Number**:

وهو خاص بكل شركة للتعريف بمنتجاتها لكن ما يهمنا هنا هو الحرف الأول من اليمين فى الاسم حيث يعبر عن نوعية سعة القطع وهل هى من النوع المرتفع H أو النوع العادي N.

2. **MCB Current and Curve Rating:**

فى المثال هنا الخاص بشركة شنايدر فإن التيار المقنن والمنحنى الخاص بالـ Current–Time curve يظهران باسم C20 وهذا يعنى أن التيار المقنن هو 20 أمبير وعلاقة التيار بزمن الفصل تتبع المنحنى C في شكل 2–36 السابق شرحه فى الجزء السابق.

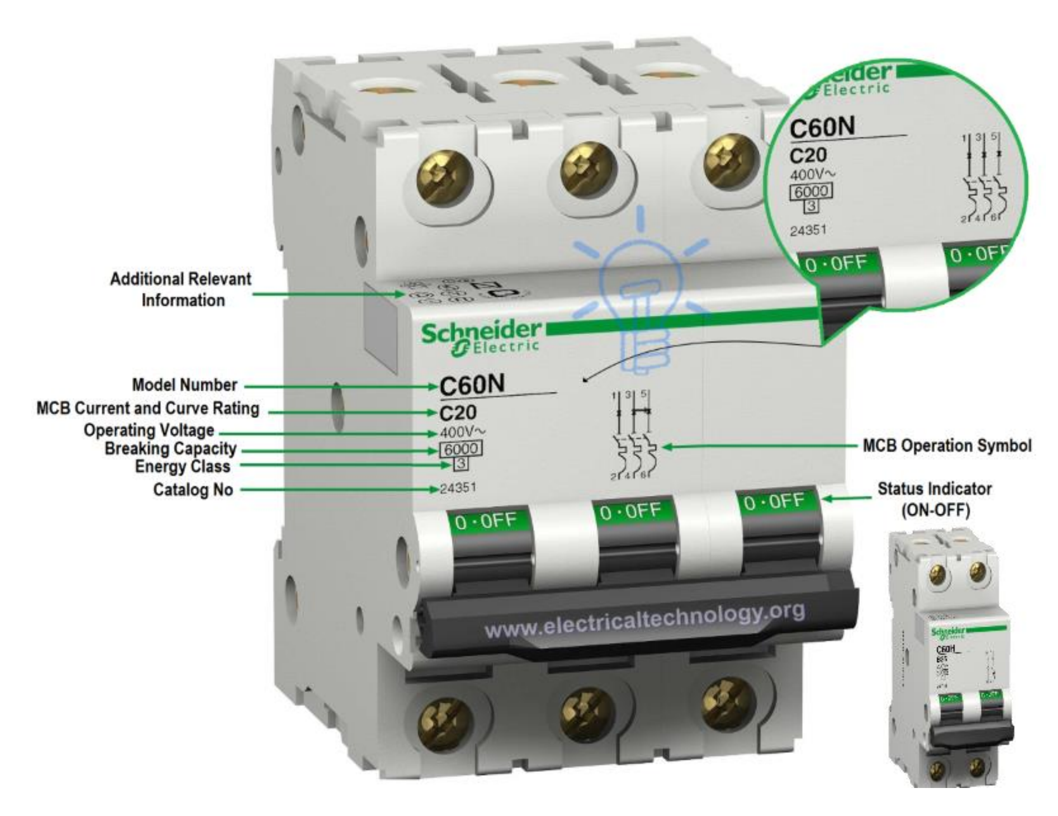
3. **MCB Breaking Capacity:**

فى هذا المثال فإن سعة القطع هى 6000 أمبير ، فإذا مر تيار أعلى من ذلك فسيحترق القاطع.

4. **Energy Class:**

من المفترض أن مرور التيار يتسبب فى توليد طاقة داخل القاطع، وبالطبع فالطاقة العظمى تتولد أثناء الأعطال حيث يمر تيار عالي جدا، ومن هنا ظهر هذا المصطلح الذى يعبر عن Let Through Energy

أو الطاقة القصوى التى يمكن أن يتحملها بمرور عابر أثناء الأعطال وهى تصنف غالبا على ثلاث فئات Class-1، Class-2، and Class-3. وفى هذه الحالة فإن القاطع من النوع Class-3 وهو الأعلى فى التحمل.



شكل 2-46

5. Operating Voltage:

هذه القيمة (400 فولت فى هذا المثال) تمثل الجهد المقنن الذى يسمح بمرور التيار المقنن لهذا القاطع إذا وصل بالحمل المناسب. وهنا يبرز سؤال:

هل يمكن استخدام الـ CB لحماية دوائر الـ AC or DC التى تحمل تيارا أقل من الـ Rated Current للقاطع؟ والإجابة القاطعة : لا.

فالقاطع إذا استخدم مع دوائر الـ DC سيسخن بمعدل أكبر، ولذا يجب ألا يحمل بنفس قيمة التيار المتردد. والأخطر من ذلك أن إمكانية قطع التيار الـ DC أصعب بكثير من قطع التيار المتردد ولذا ستجد أيضا أن

القاطع إذا استخدم مع دوائر الـ DC سيكون جهد التشغيل المسموح به أقل بكثير من الجهد فى حالة التيار المتردد ولذا تجد الشركات تحدد بوضوح التيار والجهد المناسب إذا استخدم مع AC، وإذا استخدم مع DC. على سبيل المثال ففي شكل 2-47 تجد CB مقنن على 400V AC لكنه مقنن فقط على 220V DC.



شكل 2-47

وأخيرا، فإن القواطع دائما تصنع طبقا لمواصفات عالمية، ويظهر ذلك من الرمز الذى يظهر على القاطع. وفى شكل 2-48 أشهر هذه المواصفات:





شكل 2-48

فالرمز الأول من اليمين يعنى أن هذا القاطع (أو أي جهاز عموما) صنع مطابقا للمواصفات الأمريكية USA Laboratory، أما الشكل الثاني فيعنى أنه مطابق للمواصفات الكندية Canadian Standard Association، والشكل الأخير خاص بالاتحاد الأوروبي.

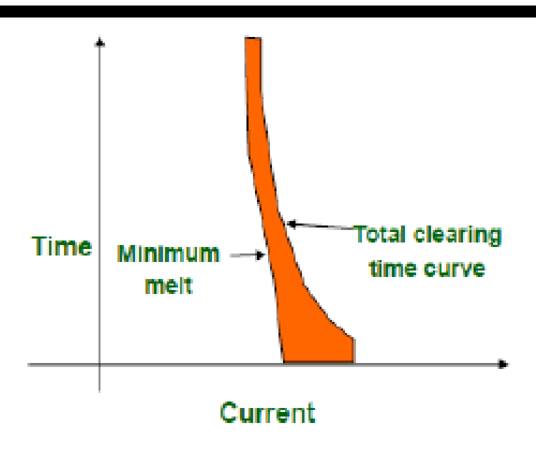
2-15 الفيوز (المصهر) Fuse

يمكن أن نعتبر الفيوز نوع من أنواع الـ CBs على أساس التشابه بينهما فى الوظيفة وهى قطع التيار المار بالدائرة إذا تعدى حدودا معينة، وهو أرخص سعرا من كافة أنواع الـ CBs السابقة، ويستخدم لحماية الأجهزة من تيار القصر "العالي جدا" حتى فى وجود الـــــ CB. والفيوز أقدم الوسائل لحماية التمديدات والمعدات الكهربية من التلف والاحتراق، والغرض الأساسى من الفيوز هو قطع الدائرة الكهربية عندما يسحب الحمل تيارا أعلى من I_{rated}.

ويتميز الفيوز بأنه أسرع فى الفصل من الــ CB فى حالة الارتفاع الشديد فى قيمة التيار ، فيمكن استخدامه بدون الحاجة لوجود CB لكن من عيوبه – فى حالة استخدامه لحماية الـــ3-Phase Motors إنه قد لا يفصل كل الــ Phases فى وقت واحد عند حدوث عطل – مما يعنى أن الموتور المحمى بواسطة الفيوز قد يعمل أحيانا على 2-phases.

ويعتمد مبدأ عمل الفيوز على التأثير الحرارى للتيار الكهربى المار فيه حيث ينصـــهر عند تيار معين ويقطع التيار . هناك دائما قيمتان هامتان ترتبطان بزمن الفصل كما في الشكل 2-49 :

- الزمن الأول هو pre-arcing time، ويسمى أيضا بزمن Min. Melting time، وهو الزمن من بداية ارتفاع التيار وحتى حدوث الشرارة.
- أما الزمن الثـــــــــــــاني فهو الزمن حتى إتمام إطفـــــــــــــــــاء الشـــــــــرارة (Total Clearing Time (Melting Time + Arcing Time.



شكل 2-49

ومن المهم معرفة أن القيمة المكتوبة على الفيوز هى Rated value، وتمثل قيمة التيار الذى يستطيع تحمله (طوال الوقت Continuously) ، وليست القيمة التي ينصهر عندها. والصحيح أن الفيوز يبدأ فى الانصهار إذا تجاوز التيار المار خلاله قيمة ما يسمى تيار الصهر Fusing current، والذى غالبا تكون نسبته إلى التيار المقنن تتراوح بين 4 :1.5 (تسمى بالـ Fusing Factor) . بمعنى أن الفيوز 10A مثلا لن يبدأ فى الانصهار قبل مرور تيار قدره من 15A:40A تقريبا خلاله.

ويشترط فى الـFuse Element وهو العنصر الأساسى داخل الفيوز أن يكون مصنوعا من مادة جيدة فلا يستهلك مع مرور الزمن، و لا تتغير صفاته مع مرور التيار، ويجب أيضا أن يكون سريع الانصهار، وأن لا يسبب انصهاره أية عواقب (كالاشتعال مثلا) . ويستعمل الفيوز حسب التحمل المسجل عليه، فإذا كان الحمل الطبيعي أعلى من تحمل الفيوز فذلك يعنى عدم ملائمة هذا الفيوز.

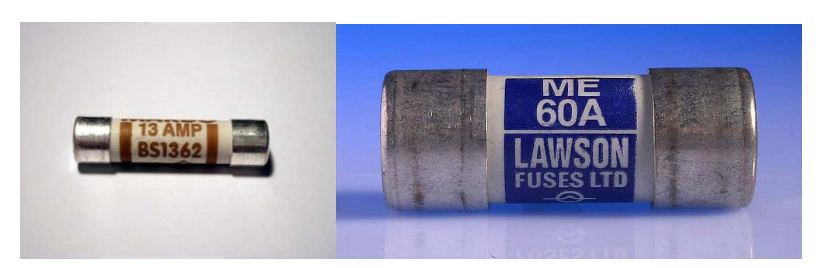
وللمصهرات أنواع، من أهمها:

1. المصهرات الخرطوشية Cartridge Fuses
2. المصهرات ذات سعة القطع العالية High Rupturing Capacity. HRC.

2-15-1 المصهرات الخرطوشية Cartridge Fuse

صنعت الفيوزات الخرطوشية لتغطى بعض مساوئ الفيوزات القديمة التى كانت تستعمل سلك عادى رفيع، وكان يعاد تشعيره بسلك آخر عند كل عطل. وكان يعيب هذا النوع القديم أن السلك الجديد ربما يكون من مقطع غير مناسب. أما المصهرات الخرطوشية (شكل 2-50) فهى عبارة عن حيز اسطوانى من الخزف

يحتوى على عنصـــر الفيوز Fuse Element (الذى لا يمكن تغييره). والاســطوانة تكون مملوءة بالرمل الســليكونى الذى يســاعد على الإطفاء. لكن يعيب هذا النوع إنه لا يفرق بين الحمل الزائد الذى يمكث فترة طويلة والحمل الزائد الذى يزول بعد فترة قصيرة.



شكل 2-50

2-15-2 المصهرات ذات سعة القطع العالية H.R.C

تتكون فيوزات الـ High Rupture Capacity من اسطوانة أو مكعب من الخزف الجيد، وفيه نجد أن الـ Fuse Element عبارة عن سلك رفيع من الفضة الخالصة، أما الاسطوانة فإنها تملأ بمسحوق السيلكون، ويتحمل هذا النوع قيم عالية للقصــــر، كما يزود فى الغالب بمبين للعطل Fault Indicator ليدل على حدوث عطل (شكل 2-51).

ونشير أيضا إلى أن هناك نوعين من الـــ Fuse element : الأول يعرف بـــ Single Element، وفيه يكون عنصر الفيوز المصنوع من الفضة مكونا من مقطع واحد، بينما الثاني يعرف بــــ Dual Element وفيه يضاف لعنصر الفيوز السابق جزء إضافي موصل معه على التوالي و يتأثر فقط بالـ Overload.





شكل 2-51

الجزء الرابع :

المجموعة الرابعة : لوحات التوزيع ومعدات التحكم

رغم أن لوحات التوزيع يمكن تصنيفها ضمن المجموعة الأولى إلا أنى وضعتها هنا لتناسب الترتيب المنطقى في عرض المعدات والمكونات.

أما معدات التحكم فسنكتفى من عناصر هذه المجموعة بشرح عنصر واحد فقط هو مفتاح التلامس (Contactor).

2-16 لوحات التوزيع الكهربية

لوحات التوزيع هى أحد العناصر الأساسية فى أي منظومة للتمديدات الكهربية، ووظيفتها الأساسية هى التحكم فى فصل وتوصيل التيار الكهربي مع التشغيل الآمن لأى Equipment، بالإضافة إلى حماية الأفراد والممتلكات من الأذى، والوقاية من التيار الزائد، ومن تيارات العطل، وكذلك الآثار الحرارية الناتجة من التشغيل أو عند الأعطال.

و طريقة توزيع وترتيب القواطع داخل اللوحة سيتحكم بشكل كبير في كفاءة الشبكة الكهربية فيما بعد، كما أن طريقة توصيل مجموعة اللوحات الكهربية ضمن المشروع الواحد تؤثر بدرجة كبيرة على كفاءة الخدمة و استمرارية التوصيل كما سيتبين لاحقا. ويتم اختيار موقع لوحة التوزيع بحيث يكون قريبا من مركز الأحمال التى تغذى منها بغرض تقليل أطوال الكابلات والأسلاك، وبالتالى التكلفة النهائية للمشروع.

ولوحات الجهد المنخفض تنقسم إلى نوعين : لوحات عمومية (رئيسية) ولوحات التوزيع الفرعية. وسندرس تفصيلا حسابات تصميم كل نوع منهما في الفصل الخامس من هذا الكتاب.

2-16-1 توصيف اللوحات الكهربية

يمكن تصنيف اللوحات الكهربية حسب الشكل على النحو التالى :

(أ) اللوحات ذات الإطار المفتوح Open Frame Construction

نظراً لأن الأجزاء المكهربة بهذا النوع يتم بناؤها مكشوفة داخل إطار اللوحة ومن الممكن الوصول إليها من جميع الاتجاهات نتيجة لعدم وجود غطاء، فإنه لا يسمح بتركيبها إلا داخل الأماكن المغلقة تفادياً لحدوث الصدمة الكهربية.

(ب) اللوحات ذات البناء Construction Panels

تحقق هذه اللوحات الوقاية من التلامس مع الأجزاء المكهربة من واجهة اللوحة ولكن لا تحقق ذلك من الواجهات الأخرى التى يمكن منها الوصول إلى مكونات اللوحة بسهولة، لذا يجب أن يتم تركيب هذه اللوحات فى الأماكن المغلقة فقط.

(ت) اللوحات ذات الخلايا Cubicle Construction

تكون اللوحات من هذا الطراز مغلقة من جميع الجوانب بحيث يستحيل لمس الأجزاء المكهربة بها أثناء التشغيل، لذا فإنه من المسموح تركيبها فى أماكن التشغيل المفتوحة. ويصنع كل قسم من عدة خلايا وتكون مفردات المعدات مركبة خلف أبواب الأقسام المختلفة.

(ث) اللوحات ذات الوحدات القابلة للسحب Withdraw able units

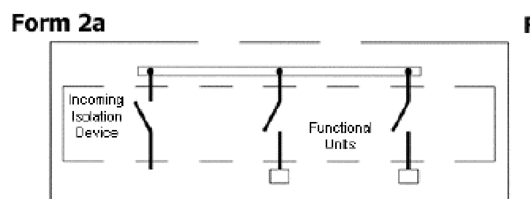
يتم بناء هذه الوحدات داخل خلايا اللوحة ويمكن تقسيم الخلية إلى أقسام منفصلة كل منها يحتوى على وحدات قابلة للسحب وبذلك يضمن الأمان التام للأفراد والسهولة أثناء الصيانة.

(ج) اللوحات ذات الطراز الصندوقى Box type construction

وتتكون من مجموعة من الصناديق المجمعة مع بعضها بطريقة مأمونة وتحتوى على وحدات المعدات مثل قضبان التوزيع والـ CBs والـ Contactors. وتحول هذه الصناديق دون التلامس مع الأجزاء المكهربة. ويمكن أيضا إضافة حواجز للوقاية، كما يمكن باستخدام درجة معينة من الحماية (على الأقل IP 55) استعمال هذا النوع من اللوحات فى الأماكن عالية التلوث بالغبار أو ذات ظروف التشغيل القاسية (على عكس الطرازات الأخرى).

وهذا التصنيف يشبه إلى حد كبير التصنيف المتبع فى معظم الشركات الأجنبية المصنعة للوحات، حيث تكون اللوحات غالبا مقسمة حسب درجات الفصل بين أجزائها المختلفة بدرجات تعرف بـ Form1، Form2، etc

وفى شكل 2-52 بعضا من هذه الأنواع:



Functional Units separated from busbars, but terminals NOT separated from busbars.

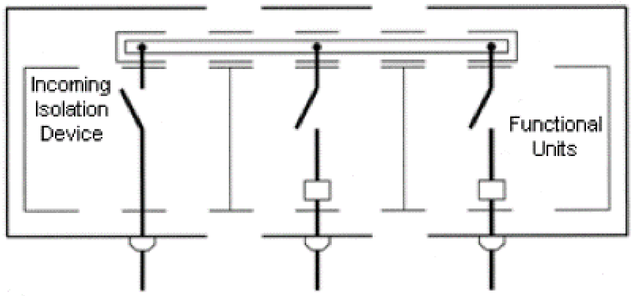
Form 1

Incoming Isolation Device

Functional Units

No internal separation - This form construction is rarely used.

Form 4 - Type 1 and 2



Functional Units separated from eath other, and busbars, cables glanded elsewhere. Terminals associated with Functional Units, to be located in the same compartment as the Functional Unit.

Type 1 - Separation by insulated coverings.

Type 2 - Separation by metallic, or non-metallic rigid barriers.

شكل 2-52

2-16-2 IP-Code للوحات التوزيع

ويلاحظ عند توصيف اللوحات الكهربية استخدام ما يعرف بـــ IP –Code و هو رمز مكون من رقمين (XY)

1. الرقم الأول X يتراوح بين 1 إلى 6، و يعطي مقياسا لدرجة حماية اللوحة ضد الأتربة.
2. أما الرقم الثاني Y فيتراوح بين 1 إلى 7، ويعطي مقياسا لدرجة حماية اللوحة ضد المياه.

و بالطبع كلما ارتفعت قيمة الرقمين (X and Y) كلما دل ذلك على مناعة اللوحة ضـــد المياه و الأتربة حتى نصـــل إلى اللوحة IP67 فنعني أنها لوحة مؤمنة تماما ضـد المياه و الأتربة. Dust-Proof and Water-Proof. و تتدرج درجات الحماية كما فى الجدول 2-7.

وبالطبع كلما ارتفعت قيمة IP كلما ارتفع ســـعر اللوحة، و كلما ارتفع أيضــــا ســـعر ملحقات اللوحة Accessories، فعلى ســبيل المثال فاللوحة IP66 تكون مزودة بإطار مميز من المطاط لا يسـمح مطلقا

بدخول الأتربة و المياه، لكن هذا غير كاف، لأنه عند استخدام هذه اللوحة ضمن منظومة التوزيع سنحتاج إلى عمل فتحات لدخول وخروج الكابلات، و هذه الفتحات يجب أن تكون هى الأخرى مزودة بجلندات Glands مميزة وعالية الجودة حتى تدخل الكابلات من خلالها، ثم تغلق بإحكام بعد مرور الكابلات لمنع تسرب الأتربة و المياه من هذه الفتحات.

و سعر هذه الجلندات سيكون أيضا مرتفعا (ليس فقط سعر اللوحة). وهذه من النقاط التى قد تغيب عن بعض مسئولى التنفيذ فى المشروعات الكهربية، فهو قد يهتم بالعنصر الأساسى – وهو بالطبع اللوحة الغالية السعر – لكنه يهمل فى توصيف ملحقات اللوحة، فتضيع قيمة المواصفات العالية التى اشترطها فى اللوحة بسبب عنصر قد لا يمثل سعره 1% من سعر اللوحة.

جدول 2-7 : تصنيفات الـIP للوحات الكهربية

Y(الوقاية ضد المياه)	X (الوقاية ضد الأتربة)	IP
لا يوجد حماية	لا يوجد حماية	0
حماية ضد قطرات المياه الساقطة (قد تدخل لكن لن تضر)	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 50 مم	1
حماية ضد قطرات المياه الساقطة بدون قوة Drop-proof	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 12 مم	2
حماية ضد الأمطار Rain Proof	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 2.5 مم	3
حماية ضد المياه المقذوفة على اللوحة من أى زاوية Splash- proof	حماية ضد الأجسام التى لها قطر أكبر من 1 مم	4
حماية ضد المياه المندفعة بقوة Jet-Proof	قد تدخل بعض الهباب لكنه هناك حماية شبه تامة ضد الأتربة التى تضر التشغيل	5
ضد أمواج البحر	حماية مطلقة ضد الأتربة	6
ضد الغمر فى الماء		7

وأخيرا نشـير إلى أنه قد يضـاف فى بعض المواصـفات رقم ثالث للإشـارة إلى درجة حماية اللوحة ضـد الاهتزازات Vibration خاصـة فى اللوحات التى بها تيارات عالية تتسـبب فى مجالات كهرومغناطيسـية قوية، أو قريبة من مصادر اهتزازات ميكانيكية خارجية.

3-16-2 تصميم لوحات التوزيع

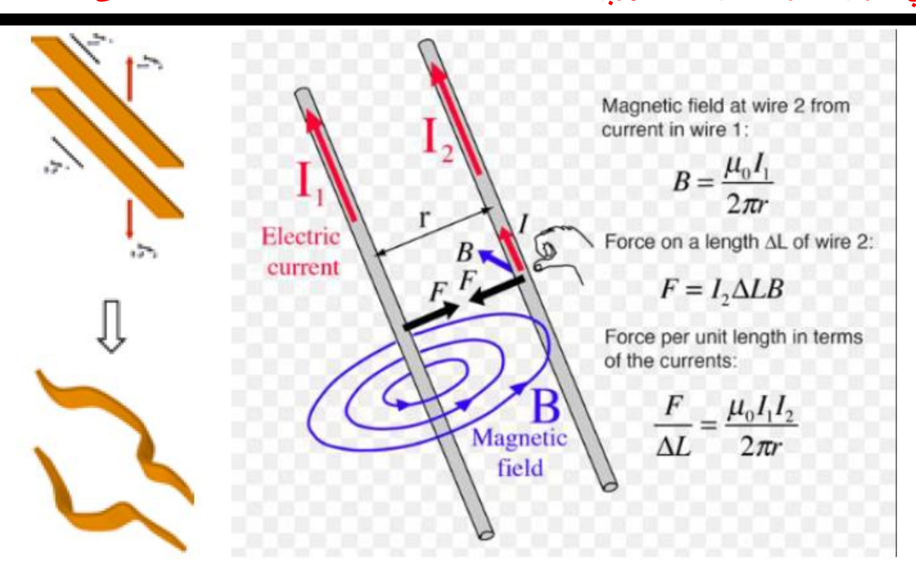
الشـكل العام للوحة الكهربية يوحى بأنها مجرد صـندوق به مجموعة من القضـبان النحاسـية (5 بارات :3PHASE+N+E) ومصـنوعة من صـاج جيد (سـمكه لا يقل عن $2mm^2$)، ومفصـلات جيدة، ولمبات بيان، وأجهزة قياس إلخ

بالطبع هذا ما يراه الشـخص العادى، لكن : **هل يمكن مثلا لورشـة حدادة إذا اسـتخدمت صـاج مناسـب وبارات نحاسية جيدة ومفصلات ممتازة أن تنتج لوحات توزيع كهربية ؟** بالطبع لا!!.

لأن الخطأ فى تحديد المسافات – على سبيل المثال – بين قضبان التوزيع المركبة داخل اللوحة يمكن أن يترتب عليه انفجار اللوحة وتحطمها عند حدوث أول قصـر فى الدوائر المغذاة من هذه اللوحة. ولتوضـيح ذلك فإننا نذكر القارئ ببعض المبادئ الأساسية فى الكهربية.

فمن المعروف أن مرور تيـار كهربى فى موصـــلين متوازيين ينتج عنـه قوة تـنافر (إذا كـان التيـار فى الموصـلين فى نفس الاتجاه) أو قوة تجاذب (إذا كان التيار فى الموصـلين فى اتجاهين مختلفين) وهذه القوة تتناسب طرديا مع مربع شدة التيار وعكسيا مع المسافة بين الموصلين و شكل 2-53 يوضح ذلك.

وهذه القاعدة هامة جدا عند تطبيقها على لوحات التوزيع، فعند حدوث عطل سـيمر تيار عالي جدا من خلال القضـبان المركبة داخل اللوحة، فإذا كانت المسـافة بين هذه القضـبان صـغيرة فسـتكون قوة بين القضـبان كبيرة جدا ويمكن أن تتسـبب فى " **خلع**" القضـبان من اللوحة وانفجار اللوحة. ومن ثم فتصـميم اللوحة ليس عملا سهلا بل هو يحتاج لدراسات وحسابات فنية.



شكل 2-53

ولا تستغرب إذن حين ترى هذه المسامير الضخمة التي تستخدم في تثبيت المعدات الكهربية على الــ BB كما في شكل 2-54، فلولا هذه المسامير لطارت هذه القضبان وقت حدوث القصر.

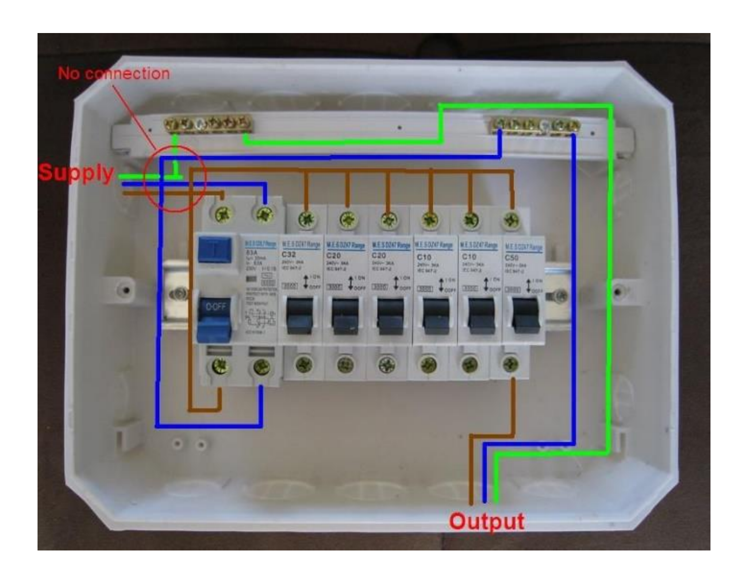


شكل 2-54

2-16-4 ملاحظات عامة على اللوحات الكهربية

- يتم تركيب لوحة توزيع رئيســـية قريبة من نقطة تغذية المبنى بالتيار الكهربي وتتفرع منها المغذيات الرئيسية التى تغذى اللوحات الفرعية.
- يقســـم المبنى إلى عدة مناطق يركب فى كل منها لوحة توزيع فرعية للتحكم فى الدوائر العمومية التى تغذى المنطقة.

- قد تكون اللوحة الفرعية مغذاة من 1-phase فقط كما فى شكل 2-55 الذى يظهر فيه سلكى دائرة الدخول، بالإضافة إلى دائرة خروج واحدة فقط، حيث السلك البنى هو (الـ Live terminal هو السلك البنى، بينما الــ Neutral هو السلك الأزرق، و الأخضر دائما للأرضي (سؤال: هل يمكن أن تعرف فى أى دولة صنعت اللوحة التى تظهر فى هذا الشكل بدون قراءة أى بيانات من اللوحة ؟؟؟).
- لاحظ أن القاطع الرئيسي مزود بخاصية اكتشاف تسريب الأرضي GFI، ولذا فإن الـ Neutral أيضا دخل على القاطع الرئيسي بينما لو كان القاطع الرئيسي من النوع العادى لكان الدخول عليه للطرف الحى فقط. (سؤال: هناك شيء آخر يمكنك من خلاله التأكد من نوعية القاطع الرئيسي. ما هو؟)



شكل 2-55

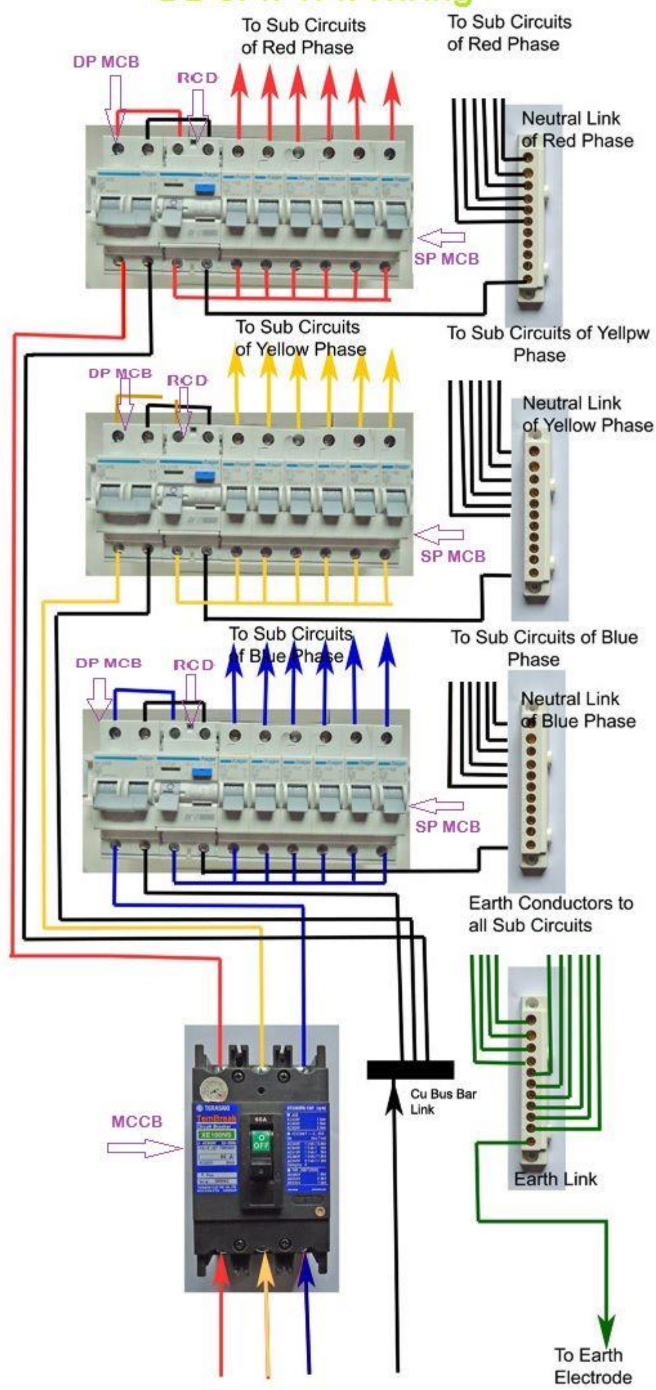
- وقد تكون اللوحة الفرعية مغذاة من الـــ 3-Phases كما فى الشكل 2-56، حيث القاطع الرئيسي موجود في أقصى يمين اللوحة من أسفل. علما بأن كابلات الدخول الرئيسية على اللوحة غير موجودة في شكل 2-56. لاحظ أن القواطع الفرعية المغذاة من الـــ Red-phase مثلا يدخل عليها طرف أحمر واحد قادم من القاطع الرئيسي (داخل trunk) ، ثم باستخدام مشط توصيل Connector (غير ظاهر في الشكل 2-56) يتم تغذية جميع هذه القواطع من أسفل. ثم تخرج منها الأسلاك المغذية للدوائر الفرعية من أعلى.



شكل 2-56

- لاحظ أنه عند تغذية أى دائرة فرعية سنحتاج لـ Wire يخرج من أحد قواطع الـ phases الثلاثة + طرف Wire ثانى من روزتات الـ Neutral الموجودة فى أقصى يمين شكل 2-56 فوق وطرف من الأرضي إن وجد.
- وقد تصمم اللوحة بحيث تحتوى على GFCB (نفس هذا القاطع يمكن أن يسمى Residual Current Disconnector، RCD) منفصل لكل Phase على حدة كما فى شكل 2-57. (سؤال: كيف يمكنك بمجرد النظر أن تميز بين الـ RCD وبين الـ DP Main CB ؟؟).
- يفضل دائماً فى المباني الكبيرة الممتدة أفقياً والتى تتكون من أجزاء يفصل بينها فواصل تمدد أن تختص كل لوحة أو عدد من لوحات التوزيع الفرعية بجزء من أجزاء المبنى وذلك لتقليل عبور التوصيلات والكابلات لفواصل التمدد إلى الحد الأدنى.
- يجب ترك فراغ كاف حول اللوحة من جهة التشغيل وبين واجهة اللوحة والحائط المقابل لها، أو بينها وبين اللوحة التالية، أو المعدات القريبة منها، أو بينها وبين أى عائق لضمان سهولة التشغيل والصيانة للوحات.
- يجب تأريض أجسام جميع لوحات التوزيع.

- اللوحات الرئيسـية تكون مزودة بأجهزة لقياس الجهد والتيار، بالإضـافة إلى الطاقة المسـتهلكة بصـورها المختلفة (KWh، kVAR and kW) . وقد تزود بأجهزة لقياس معامل القدرة (Power Factor) أو التردد، وذلك كله حسب حجم وأهمية اللوحة.
- تزود لوحات التوزيع المنزلية بأجهزة حماية ضـد التسـريب Earth Leakage CB فى معظم الأكواد وليس كلها.
- يفضـل أن يكون كل واحد من بارات اللوحة معزولاً بواحد من الألوان الثلاثة (أحمر – أصـفر –أزرق) حتى لا يحدث أخطاء فى توصيل الدوائر وتوزيعها بين الـ 3-Phases كما فى شكل 2-57.
- يجب عند التنفيذ أن تستخدم جميع الدوائر التى تغذى من Red-phase موصـلات حمراء اللون، وأن نستخدم لجميع الدوائر المغذاة من Blue-phase موصـلات زرقاء وهكذا، مع مراعاة أن يكون موصل خط التعادل (Neutral) أسود اللون، وأن يكون خط الأرضـي Earth أخضـر، أو أخضـر /أصـفر. و شكل 2-57 فيه تفاصيل أكثر عن توصيل الأحمال باللوحات.


DB 3Ph-1Ph Wiring
To Sub Circuits of Red Phase
To Sub Circuits of Red Phase
DP MCB
RCD
Neutral Link of Red Phase
SP MCB
To Sub Circuits of Yellow Phase
To Sub Circuits of Yellpw Phase
DP MCB
RCD
Neutral Link of Yellow Phase
SP MCB
To Sub Circuits of Blue Phase
To Sub Circuits of Blue Phase
DP MCB
RCD
Neutral Link of Blue Phase
SP MCB
Earth Conductors to all Sub Circuits
Cu Bus Bar Link
MCCB
Earth Link
To Earth Electrode
Incoming Three Phase and Neutral Supply

شكل 2-57

- لمبات البيان في لوحات التوزيع الجهد المنخفض يجب أن تغذي مباشــرة من أطراف دخول الكابل على القاطع وليس أطراف خروجه من القاطع، لأن دور لمبات البيان هو أن تعطى إشـارة عن وجود مصـدر التغذية من عدمه، فإذا كان هناك عطل وتســـبب فى انقطاع التغذية عن الأحمال، فإننا ننظر أولا إلى لمبات البيان فإذا كانت اللمبات مضـاءة فمعنى ذلك أن مصـدر الكهرباء متاح، ولكن هناك عطل سـببه مشـكلة داخلية وليسـت خارجية. أما إذا كانت اللمبات غير مضــاءة فهذا يعنى أن العطل فى مصـدر الكهرباء وليس فى اللوحة أو الأحمال.
- يجب أن تزود لوحات التوزيع برسم مخطط Single Line Diagram أو جدول يثبت على بابها، ويبين طريقة توزيع الأحمال داخل اللوحة، و اســم كل قاطع، واســم كل حمل داخل اللوحة من أجل ســهولة الصيانة والمتابعة بعد ذلك.

وفى شكل 2-58 نماذج للوحة توزيع رئيسية من الداخل.





شكل 2-58

17-2 مفاتيح التلامس (Contactors)

يعتبر الـــــ Contactor من العناصر الأساسية فى دوائر التحكم عموما، ودوائر المحركات والإنارة عالية القدرة على وجه خاص. وهو يشتمل على أقطاب أساسية Main Poles قادرة على حمل تيار عالي (أرقام أطراف الدخول هى 1-3-5، وبينما أرقام أطراف الخروج هى 2-4-6 في شكل 2-59).

ويتم التحكم في فتح وغلق هذه الأقطاب الرئيسـية بواسـطة ملف التحكم (A1-A2) الذى لا يحتاج سـوى لتيار صـغير لبدء عمليات الفتح والغلق للأقطاب الرئيسية الحاملة للتيار العالي. ومن ثم فيمكن التحكم فى تيارات عالية بواسطة تيارات منخفضة.

شكل 2-59

ويزود الـ Contactor بعدد من الأقطاب المساعدة Auxiliary Contacts وهى نوعان:

- Normally OpenN/O : (الطرفان 23-24 في شكل 2-59، أو الطرفـــان 13-14 في شكل 2-60)
- Normally Closed, NC : (الطرفان 11-12 في شكل 2-59، أو الطرفان 21-22 في شكل 2-60)

النوع الأول (N/O) يكون فى الوضـــع الطبيعي "مفتوحا" طالما لا توجد إشـــارة كهربية فى ملف الـــــــ Contactor، ومن ثم فالأقطاب الرئيسية أيضا مفتوحة، ثم أتوماتيكيا يتحول إلى الوضع "مغلق" بمجرد أن يكون ملف الــــــــ Contactor مكهربا energized، والعكس بالعكس فى حالة النوع الثاني (N/C). والاســتخدام الأســاسـي لهذه الأقطاب المســاعدة يكون فى دوائر التحكم فى المحركات Motor Control Centers، MCC.



شكل 2-60

2-17-1 أهم مواصفات الـ Contactor

ويتم توصيف الـ Contactor حسب عدة متغيرات من أهمها:

1- جهد التشغيل وقيمته وهل هو AC مثلا أم DC.

2- عدد الأقطاب المساعدة ونوعها (N/O and N/C Auxiliary Contacts) ، وفى أغلب الأنواع يكون الـ Contactor مزودا بقطب مساعد واحد من النوع الـ N/O، ومعه N/C واحد أيضا.

3- التيار المقنن Rated Current الذى يمر خلال الـ Main Poles.

4- عدد الأقطاب الأساسية Main Poles وهى دائما فى الوضع Normally Open.

5- طبيعة الحمل : فالـــ Contactor يمكن أن يحمل 100A إذا كان الحمل المركب عليه من النوع Single Phase Resistive Load، بينما لا يتحمل أكثر من 75A إذا كان الحمل يمثل مثلاً موتور 3-Phase Inductive Load.

6- ويتم التوصيف أيضا طبقا لمعلومات عن أقصى جهد تشغيل وأقصى جهد مفاجئ، وأقل تيار لتشغيله، وزمن الانتقال Switching Time، وعدد مرات الـ Switching خلال عمره الافتراضي إلخ.

2-17-2 الفئات المختلفة للـ Contactors

وأبرز الفئات فى هذا المجال هى :AC1 و AC3 و AC4 (سيتوقف السعر أساسا على الفئة).

فئة AC1 :

وأبرز استخدامات الـــ Contactors من هذه الفئة فى فصل وتشغيل دوائر الإنارة أو الأحمال القريبة من كونها resistive loads . وفى هذه الحالة يجب ألا تقل سعة التصنيع للـ Contactor المستخدم عن 1.25 من قيمة التيار المغذى لمجموعة اللمبات.

فئة AC3 :

فى هذه الفئة يستخدم الــــ Contactor لأداء عدد من المهمات مثل Starting of Induction Motor أو فصل وتشغيل المحرك الثلاثي الأوجه. وفى هذه الفئة يجب أن تكون سعة التصنيع للــــ Contactor المستخدم تساوى على الأقل عشرة أمثال تيار المحرك المقنن حتى يمكنه تحمل تيار البدء.

فئة AC4 :

أما هذه الفئة فهى مثل السابقة، لكن يمكن استخدام هذا الــــ Contactor فى عكس دوران المحرك الثلاثي الأوجه، أو تحريكه على دفعات متتالية فى فترة تشغيل قصيرة، وهذا يعنى أن تتوقع أن يكون

الـــ Contactor المستخدم فى هذه الفئة يتحمل قيمة قصوى للتيار أعلى من النوعية المستخدمة فى الفئة السابقة. و غالبا تكون سعة التصنيع للـ Contactor المستخدم من هذه الفئة تساوى على الأقل 12 مرة من تيار المحرك المقنن.

3-17-2 اختيار قدرة الـ Contactor

يتم اختيار الــ Contactor علي أساس قدرة الموتور، ويعرف الــ Contactor دائما بالقدرة بالــKW، أو بالـ HP ، وليس بالتيار، ويتم اختيار قدرة الـ Contactor مساوية لضعف قدرة الموتور، حتي تتحمل نقط تلامس الــــ Contactor التيار المار بها وتعيش فترة أطول، خاصة إذا كان الحمل عبارة عن طلمبة أو كباس Compressor يعمل تبعا للضغط عن طريق PRESSURE SWITCH فيكون الـ Contactor معرض لعدد كبير من STARTING مما يجعل نقط التلامس تتأثر، وقد يؤدي ذلك إلي ســقوط فازة، أو احتراق الموتور اذا كان الـ Contactor صغيرا، لذا فالأفضل أن نختاره ضعف قدرة الموتور.

مثال:

إذا كـــــان لـــــديـــــنــــــا 10kW single phase motor فالأفضل أن نختار الــــــ Contactor 18.5 kW (لأنه لا يوجد Contactor 20 kW)، ونختار الملف للكونتاكتور 220 فولت AC حتي لا نحتاج محول أو قنطرة توحيد للحصـــول علي جهد مستمر.

الفَصْلُ الثَّالِثُ

تقدير الأحمال الكهربية

3

الفصل الثالث

تقدير الأحمال الكهربيـــــــــــــــــــة

Load Estimation

تقدير أحمال المشـروع هى خطوة تسبق القيام بالتصـميمات التفصـيلية لأى مشـروع كهربى، وهى ضـرورية للحصـــول على التراخيص، حيث يكون المطلوب فقط فى مرحلة الحصــــول على التراخيص تحديد القدرة الكهربية الإجمالية للمشــروع دون الحاجة إلى تفاصــيل. وفى هذا الفصــل ســيتم التعرف على طرق تقدير الأحمال في المشروعات الكهربية.

وفى البداية نشير إلى أن الأحمال الكهربية (غير الصناعية) تصنف إلى المجموعات التالية:

1. أحمال الإنارة، وتنقسم إلى الإنارة الداخلية (للفراغات و الممرات و الإنارة العامة)، و الإنارة الخارجية (إنارة تجميلية، إنارة الســاحات الخارجية، مواقف الســيارة المكشــوفة، إنارة الســلالم، إلخ). وتغطي أحمال الإنارة كل ما يتعلق بالإنارة العادية و إنارة الطوارئ.
2. أحمال الأجهزة الكهربية الصغيرة Small Appliances، وتشمل الأجهزة المستخدمة في المكاتب و مقابس الاستخدام العامة Sockets التى تغذى مثلا الثلاجات و التليفزيونات و غيرها.
3. أحمال التكييف Space Conditioning و تغطي أجهزة التبريد و التدفئة وغيرها.
4. الأحمال الكهربية لأجهزة المياه، والصـــرف الصـــحي مثل المضـــخات و ســـخانات المياه و إطفاء الحرائق Fire Fighting وغيرها.
5. أحمال أجهزة الإنذار والتليفونات وغيرها، وتسمى بأحمال التيار الخفيف Light current.

6. المصاعد الكهربية و السلالم المتحركة و غيرها. وتسمى أيضا بالأحمال الديناميكية لأنها تشتمل على محركات.

أما الأحمال الكهربية الصناعية فتصنف إلى ثلاثة أنواع من الصناعات : الخفيفة والمتوسطة والثقيلة. وبالطبع فهذه الأحمال تحتاج إلى معلومات تفصيلية أكثر من مجرد جداول عند تقديرها وهى خارج نطاق الكتاب.

وهذا الفصل ينقسم إلى جزئين:

1- في الجزء الأول نتعرف على طرق تقدير الأحمال ومراحله المختلفة.

2- في الجزء الثانى نتعرف على دراسات تفصيلية لبعض أحمال القوى الكبيرة (مصاعد - طلمبات - تكييف).

الجزء الأول : مراحل وطرق تقدير الأحمال

3-1 تقدير الأحمال في المرحلة الابتدائية للمشروع

يختلف تقدير الأحمال الكهربية بحسب مراحل تنفيذ المشروع، فطريقة تقدير الأحمال الكهربية للمشروع في مرحلة التصميم الأولي تختلف عن تقديرها بعد إنجاز التصميم النهائي على الورق.

ففي المراحل الأولى للمشروع يتم تقدير الأحمال الكهربية بإحدى الطرق التالية:

1- إما باستخدام التقديرات (القياسية) W/m^2 للاستهلاك الإجمالي حسب المناطق السكنية والمستوى الاجتماعي و بمعرفة مساحة الفراغات المعمارية الأولية في المشروع.

2- أو باستخدام الجداول النمطية التي تعطى متوسط الاستهلاك الإجمالي W/m^2 حسب طبيعة استخدام المبنى (بنوك، مطاعم، مستشفيات إلخ).

3- أو باستخدام القيم القياسية للأحمال (W/m^2) الأكثر استخداما (الإنارة – المخارج العامة Sockets – التكييف) حسب المساحة أيضا.

وتستخدم هذه الطرق لتقدير الحمل الكلي للمشروع بهدف التقدير المبدئي للتكاليف، أو للحصول على التراخيص، أو من أجل تقدير المساحات التي يجب تخصيصها فى المشروع لأغراض المعدات الكهربية، إلخ. كما أنها تعتبر بمثابة الحد الأدنى للأحمال في نهاية المشروع، لأن الأحمال سيعاد حسابها في المرحلة النهائية وسيتم حساب قدرات المحولات على التقدير النهائي وليس على هذا التقدير، لكن كما قلنا يظل هذا التقدير ممثلاً للحد الأدنى الذى لا يصح أن يقل التقدير النهائي عنه.

3-1-1 الطريقة الأولى:

في الطريقة الأولى تقوم شركات التوزيع بعمل جداول نمطية لتقدير الأحمال حسب المناطق السكنية والمستوى الاجتماعي للمناطق في الحدود الجغرافية لكل شركة كما هو مبين على سبيل المثال فى الجدول 3-1، حيث يقدر الطلب على الحمل بالكيلو فولت أمبير لكل مائة متر مربع، ويقوم مهندس الوزارة بالاسترشاد بهذه الجداول في تقدير الأحمال التقريبية بالمناطق المختلفة. وفى ملاحق الكتاب نماذج لتقدير الأحمال النمطية Typical فى السعودية، وجداول أخرى لتقدير الأحمال في نطاق القاهرة الكبرى. مع

ملاحظة أن التوسع فى تركيب أجهزة التكييف فى مصر قد قلب هذه الجداول رأساً على عقب، فأصبح من الضـــرورى رفع قيم التقدير وعدم الاعتماد على مثل هذه الجداول القديمة. (راجع الأمثلة التطبيقية فى هذا الفصل).

جدول 3-1

البيـــان		القدرة (ك.ف.أ /100م2)	
		سكنى	تجارى
القرى بجميع الشركات		2	5
المـــدن بشركات : القناة ، شمال الدلتا ، جنوب الدلتا ، البحيرة ، مصر الوسطى ، مصر العليا		4	10
المـدن بشركات : شمال القاهرة ، جنوب القاهرة ، الإسكندرية	الأحياء الشعبية	2	5
	أحياء متوسطة	4	10
	أحياء راقية	8	10

وبعد حساب الحمل حسب المساحة من الجدول السابق تضاف مجموعة أحمال الخدمات العامة إلى القيمة المحسوبة سابقا، وتشمل 10kVA لكل مصعد وكذلك 5kVA لكل مضخة مياه، بالإضافة إلى 200W لكل دور لزوم إضاءة السلم حسب الكود المصرى. وقد تضاف أحمال أخرى إن وجدت مثل التسخين المركزى أو التكييف المركزى، وكل هذا يضاف منفصلاً بعد ذلك. مع ملاحظة أن جميع هذه القيم تمثل للحد الأدنى الذى لا يجب النزول عنه مطلقاً، و لكن يمكن للمصمم تجاوزها إذا دعت الحاجة مع تقديم التبرير لتلك الزيادة.

والجدول التالى يمثل نموذجا للحسابات النهائية لمشروع كبير (سكنى + إدارى+ تجارى+ شوارع داخلية) في منطقة شمال القاهرة يليه جدول للحسابات النهائية لأحد المحولات في المشروع، وهو المحول الذى يغذى مجموعة من الفيلات. لاحظ أن الحسابات في الجدولين مبنية فقط على المساحة ومعامل تباين.

لاحظ أيضا في الجدول الثانى أن المحول يخرج منه 10 كابلات إلى 10 Pillars وأن كل واحد من هذه الـ Pillars يغذى عدد 2 فيلا كما هو واضح من الجدول.

النموذج	إجمالي مسطح المباني للنموذج الواحد (م²)	مساحة الدروم (م²)	عدد الطوابق السكنية (أرضي + متكرر)	الحمل الكهربي للطابق السكني (ف.أ/ ١٠٠ م²)	الحمل الكهربي للدروم (ف.أ/ ١٠٠ م²)	إجمالي الحمل الكهربي للنموذج الواحد (ك.ف.أ)	عدد النماذج	إجمالي الحمل الكهربي للنماذج (ك.ف.أ)
عمارات (١)	2791.2	847.709	5	6	3	192.90327	2	385.80654
عمارات (١')	2791.2	847.709	5	6	3	192.90327	2	385.80654
عمارات (٢)	3242.37	847.709	5	6	3	219.97347	2	439.94694
عمارات (٢')	3242.37	847.709	5	6	3	219.97347	2	439.94694
عمارات (٣)	5583.9	1695.418	5	6	3	385.89654	20	7717.9308
عمارات (٤)	6486.34	1695.418	5	6	3	440.04294	20	8800.8588
فيلا (١)	411.92	209.25	2	8	4	41.3236	2	82.6472
فيلا (٢)	310.83	155.35	2	8	4	31.0804	6	186.4824
فيلا (٣) Twin villa	593.46	289.46	2	8	4	29.5276	24	708.6624
الإستعمال	المساحة (م²)				مساحة الدروم لكل عمارة م²			
بدرومات للعمارات	74598.392				847.709			
إجمالي الحمل السكني طبقا لمواصفات شركة الكهرباء (ك.ف.ا)								19148.08856
المنطقة	الإستعمال	المساحة(م²)		الحمل الكهربي (ف.أ/ ١٠٠ م²)				إجمالي الحمل الكهربي (ك.ف.أ)
منطقة الخدمات (٢) و (١)	تجاري وإداري	23000		10				2300
إجمالي الحمل التجاري طبقا لمواصفات شركة الكهرباء (ك.ف.ا)								2300
الموقع العام	إنارة	10840		5				542
إجمالي حمل الموقع العام طبقا لمواصفات شركة الكهرباء (ك.ف.ا)								542
الحمل الكلى للمشروع طبقا لمواصفات شركة الكهرباء (ك.ف.ا)								21990.0886
الحمل الكلى للمشروع طبقا لمواصفات شركة الكهرباء (ك.ف.ا) على الموزع العام مع وجود معامل تشتت ٠,٨ للأحمال السكنية على الموزع والمحول ومعامل تشتت ١ للأحمال الغير سكنية								17938.7767

TR11			
النموذج فيلات	الترقيم		الحمل KVA
1	404	408	41
2	403	407	31
2	402	406	31
2	401	405	31
3	306	313	60
3	305	312	60
3	304	311	60
3	303	310	60
3	302	309	60
3	301	308	60

الحمل الكلى (معامل تباين ٠,٨) 790.4

حمل المحول OIL 1000kVA

أما في السعودية، فالأمور أكثر تنظيما، حيث يتم هناك تقسيم الأحمال إلى Categories كما فى الجدول التالي.

Type due to Methodology	Code	Customer Category
Area-Based Facility Type (Area Load Density Method)	C1	Normal Residential Dwelling, Houses, Duplexes , Apartments , Villas, Palaces , Istrahat , Labor Housing, etc.
	C2	Normal Commercial Shops, Commercial Shops, Commercial Stores, Gold Shops, Pharmacies, Boutiques, etc.
	C3	Furnished Flats
	C4	Hotels, Motels
	C5	Malls, Shopping Centers, Supermarkets, Hypermarkets.
	C6	Restaurants, Coffee Shops, Cafeteria.
	C7	Offices, Commercial Offices, Government Offices, Office Complexes, Banks.
	C8	Schools, Nursery, Private Training Institute.
	C9	Mosques
	C10	Mezzanine in Buildings/ Facilities
	C11	Common Area/Services in Buildings, Roof, Corridors, Stairs, Piazza.
	C12	Public Services Facilities, Outdoor Bathrooms, Washing Rooms.
	C13	Indoor Parking
	C14	Outdoor Parking
	C15	Streets Lighting
	C16	Parks & Garden
	C17	Open Spaces

ثم هناك جداول أخرى للأحمال السكنية والتجارية تعطيك ليس فقط الحمل المقدر حسب المساحة، بل أيضا تعطيك الـ CB المناسب لهذا الحمل. كما في الجدول التالى الخاص بالأحمال السكنية:

Facility Category (C1) : Loads Of Residential Buildings - 230/400 V

Constructed Area of Building (m^2)	Total Connected Load (KVA)	Circuit Breaker Rating (AMP)
25	4	20
50	8	
75	12	
100	16	
101	17	30
125	20	
150	24	
151	25	40
175	28	
200	32	
201	33	50
225	36	
250	40	
251	41	70
275	43	
300	46	
325	50	
350	53	
375	56	
376	57	100
400	60	
425	63	
450	66	
475	70	
500	73	
525	76	
550	80	
575	83	
576	84	125
600	86	
625	90	
650	93	
675	96	
700	100	
725	103	
726	104	150
750	106	
775	110	
800	113	
825	116	
850	120	
875	123	
900	126	

Constructed Area of Building (m^2)	Total Connected Load (KVA)	Circuit Breaker Rating (AMP)
901	127	200
925	130	
950	133	
975	136	
1000	140	
1025	143	
1050	146	
1075	150	
1100	152	
1125	156	
1150	160	
1175	163	
1200	166	
1201	167	250
1300	180	
1400	193	
1500	206	
1501	207	300
1600	220	
1700	233	
1800	246	
1801	247	400
1900	260	
2000	273	
2100	286	
2200	300	
2300	313	
2400	326	
2401	327	500
2500	340	
2600	354	
2700	366	
2800	380	
2900	394	
3000	406	
3001	407	600
3200	433	
3400	459	
3500	470	
3600	486	
3601	487	800
3800	513	
4000	540	
4200	567	
4400	594	
4600	621	
4800	648	

وأما بقية الأنواع فلهم جدول خاص يعطيك الحمل لكل متر مربع كما في الجدول التالى:

Code	Customer Category	Loads included*	VA/m^2
C3	Furnished Flats	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	175
C4	Hotels	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	240
C5	Malls	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	255
C6	Restaurants	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	235
C7	Offices	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	220
C8	Schools	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	180
C9	Mosques	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	185
C10	Mezzanine in Hotel	(Lights + Air Conditioning + Power Sockets)	100
C11	Common Area/Services in Buildings	(Lights + Power Sockets)	60
C12	Public Services Facilities	(Lights + Power Sockets)	50
C13	Indoor Parking	(Lights + Vans + Gates + Safety Systems)	30
C14	Outdoor Parking	(Lights)	5
C15	Streets Lighting	(Lights)	5
C16	Parks & Garden	(Lights + Water Distributor)	4
C17	Open Spaces	(Lights)	3

وما عليك بعد ذلك وأنت تقدر أحمال مشـــروع معين في الســـعودية ســـوى تحديد نوع الحمل (من أي category)، ثم تحديد المســـاحة التي يغطيها هذا الحمل، ثم يتم التعويض في جدول مثل الجدول التالى للوصول إلى حمل المشروع (فيه سبعة أنواع مختلفة من الأحمال).

TABLE 1: DESIGN DEVELOPMENT LOADS (Ref. SEC STANDARD DPS-01)

Phases	S. No.	LAND USE CATEGORY DESCRIPTION	LOAD CATOGERY CODE	AREA (SQ. M)				UNIT VA/M^2 (SEC TABLES)	CONNECTED LOAD (kVA)		DEMAND LOAD			COINCIDENT DEM.	
				No. OF UNITS	PLOT AREA/UNIT	TOTAL PLOT AREA	BUILTUP AREA/ UNIT		PER UNIT	TOTAL CONN.	DEMAND FACTOR (SEC)	DEM. kVA/ UNIT	TOTAL DEM. kVA	COINC. FACTOR (SEC)	TOTAL COINC. DEM. kVA
PH-1	1	Hospitality (5* Hotel)	C4	1	7,000	7,000	31,218	240	7,492	7,492	0.75	5,619	5,619		
	2	Parking	C13	1	-	-	23,243	30	697	697	0.8	558	558		
	3	Serv. Apartments	C3	1	2,500	2,500	37,500	175	6,563	6,563	0.7	4,594	4,594		
	4	Retail Promenade	C5	1	24,375	24,375	80,006	255	20,401	20,401	0.7	14,281	14,281		
	5	Parking	C13	1			108,007	30	3,240	3,240	0.8	2,592	2,592		
	6	Community Facilities - 1	C25	1	2,000	2,000	1490	230	343	342.7	0.8	274.16	274.16		
	7	Parking	C13	1	-	-	1787	30	54	53.61	0.8	42.888	42.888		
		Total Of Phase -1											27,961	0.9	25,164.84
PH-2	8	Hospitality (4* Hotel)	C4	1	2,500	2,500	25000	240	6,000	6000	0.75	4,500	4500		
	9	Parking	C13	1	-	-	13,050	30	392	392	0.8	313	313		
	10	Residential Apart. (High End)	C1	2	3832	7,664	86,401	145	12528.0725	25,056	0.34	4259.54465	8519.0893		
	11	Parking	C13	1	-	-	57,404	30	1,722	1,722	0.8	1,378	1,378		
	12	Support Retail - 3	C5	2	3,832	7,664	413	255	105	210	0.7	74	147		
	13	Parking	C13	1	-	-	1,040	30	31	31	0.8	25	25		
	14	Community Facilities - 2	C25	1	2,000	2,000	1490	230	343	342.7	0.8	274.16	274.16		
	15	Parking	C13	1	-	-	1,787	30	54	54	0.8	43	43		
		Total Of Phase -2											15,199	0.9	13,679.33
PH-3	16	Residential Apart. (Mid High)	C1	2	3782	7,564	65798	145	9540.71	19081.42	0.34	3243.8414	6487.6828		
	17	Parking	C13	1	-	-	46,589	30	1,398	1,398	0.8	1,118	1,118		
	18	Support Retail - 2	C5	2	3782	7,564	385	255	98	196	0.7	69	137		
	19	Parking	C13	1	-	-	1,114	30	33	33	0.8	27	27		
	20	Office	C7	1	5500	5,500	75625	220	16637.5	16637.5	0.7	11646.25	11646.25		
	21	Parking	C13	1	-	-	102,094	30	3,063	3,063	0.8	2,450	2,450		
	22	Community Facilities - 3	C25	1	2,000	2,000	1490	230	343	342.7	0.8	274.16	274.16		
	23	Parking	C13	1	-	-	1,787	30	54	54	0.8	43	43		
		Total Of Phase -3											22,184	0.9	19,965.20
Total Project Load													65,344	0.8	52,274.99

3-1-2 الطريقة الثانية :

وفيها يمكن تقدير الأحمال بالـــ W/m^2 أو باستخدام VA/m^2 باستخدام الجداول الـــ Equipment مسبقاً حسـب طبيعة اسـتخدام المبنى (بناء على المعرفة المسـبقة لأحمال مباني مشـابهة في الاسـتخدام) كما في الجدول 3-2 المأخوذ من الـ NEC:

جدول 3-2

Type of Occupancy	Unit Load Volt-Amperes Per quare Meter
Armories and auditoriums	11
Banks	39[b]
Barber shops and beauty parlors	33
Churches	11
Clubs	22
Court Rooms	22
Dwelling Units[a]	33
Garages – commercial (storage)	6
Hospitals	22
Hotels and motels, including apartment houses without provision for cooking by tenants[a]	22
Industrial commercial (loft) buildings	22
Lodge rooms	17
Office buildings	39[b]
Restaurants	22
Schools	33
Stores	33
Warehouses (storage)	3
In any of the preceding occupancies except one- family dwellings and individual dwelling units of two-family and multi-family dwellings:	
Assembly halls and auditoriums	11
Halls, corridors, closets, stairways	6
Storage Spaces	3

3-2 الطريقة الثالثة لتقدير الأحمال:

وفيها يمكن تقدير الأحمال من خلال حساب تقديرى للأحمال الأكثر استخداماً وهى أحمال الإنارة والمخارج العامة sockets والتكييف وأحمال الخدمات. وسيتم عرض هذه الطريقة بمزيد من التفصيل فى الأجزاء التالية نظراً لكثرة استخدامها.

3-2-1 التقدير المبدئي لأحمال الإنارة

تشكل أحمال الإنارة بين 20% إلى 50% من الحمل الكهربي. ويتراوح الحمل القياسي لأحمال الإنارة لكل متر مربع في المباني المختلفة بين $2W/m^2$ كما فى المخازن إلى حوالي $50W/m^2$ كما في الملاعب. وتتوقف القيمة المستخدمة على الكود القياسى المستخدم.

ويلاحظ أن أحمال الإنارة القياسية (W/m^2) قد تغيرت كثيراً فى السنوات الأخيرة بسبب انتشار اللمبات الموفرة للطاقة، فعلى سبيل المثال كان الكود الأمريكى فى الثمانينيات ينصح بقيمة تتراوح بين 30 إلى $50\ W/m^2$ فى المباني الإدارية فأصبح فى أواخر التسعينيات ينصح بقيمة تدور حول $20\ W/m^2$ ولا تزال تتناقص.

وبالطبع يجب مراجعة هذه القيم لأن هذا الكود يتغير كل عدة سنوات، كما أن لكل دولة يوجد كود خاص بها، فعلى سبيل المثال فى الكويت تحسب أحمال الإنارة – طبقا لكود الوزارة – كما يلى :

$15\ W/m^2$	فى المباني السكنية.
$30\ W/m^2$	فى المكاتب.
$60\ W/m^2$	فى المحلات و المولات الكبيرة.
$30\ W/m^2$	فى المساجد والمدارس والصالات العامة.

ويبين الجدول 3-3 الأحمال القياسية لأنظمة الإنارة كما وردت في الكود الأمريكى المعروف بـ National Electrical Code أو اختصاراً بـ NEC.

جدول 3-3 : **أحمال الإنارة القياسية فى بعض المرافق المختلفة.**

نوع الحيز أو المرفق	الحمل النوعى (W) لكل متر مربع
البنوك	25
أماكن العبادة	20
النوادى الملاعب	50-20
المستشفيات	35-20
الفنادق ومباني الشقق المفروشة	15
المدارس	20-16
المكتبات	20-15
المتاجر	25
السلالم	10

3-2-2 التقدير المبدئي لأحمال المخارج العامة (Sockets)

نظراً لأن الحمل المغذى من الـــــــ Socket غير ثابت وغير محدد، لذا توجد طرق عديدة لتقدير أحمال المخارج العامة :

- منها حساب حمل تقديرى يساوى 180VA للمخرج الواحد
- أو اعتبار كل مخرج يكافئ 1.5 أمبير
- وفى الكود الأمريكي NEC يتم اعتبار مجموع هذه الأحمال العامة فى حســابات الشــقق الســكنية يساوى كحد أدنى 3000 VA للشقة لكنهم يضيفون بعد ذلك بصورة منفصلة الأحمال المنزلية ذات الحمل المرتفع مثل الغسالة والمجفف Dryer والفرن الكهربي.
- ويمكن استخدام جداول الأحمال القياسية للأجهزة المنزلية مثل الجدول 3-4.
- وعملياً وللسهولة، يتم غالباً تقدير حساب قدرة المخرج الواحد بـــــــــ 100W، مالم يكن المخرج مخصـص لحمل محدد مثل براد مياه (يحسـب 500W) أو تكييف، أو سـخان مثلا فيحسـب بقيمته الحقيقية أو من القيم التقديرية في الجدول 3-4.

جدول 3-4 : الأحمال القياسية لبعض الأجهزة المنزلية

الجهاز	الحمل التقديرى (W)
جهاز تكييف :	
0.5 tan	800
0.75 tan	1200
1 tan	1600
2 tan	3000
سخان مياه	6000-3000
فرن كهربى	5000-3000
تلفزيون	100-300
ميكروويف	1000-500
غسالة	1200-800

ويلاحظ أن هذه النوعية من الأحمال – على العكس من أحمال الإضـــاءة – تتزايد القيمة التقديرية لـلـــــــ W/m^2 باســـتمرار، فالكود الأمريكى فى الثمانينيات كان يفترض أنها تســـاوى من 20 إلى 30 W/m^2، فصـار فى التسعينات يصـل إلى 50 W/m^2، والسبب فى ذلك يرجع إلى تزايد استخدام أجهزة الاتصـالات والكومبيتر، وكذلك الأجهزة المنزلية مثل الميكروويف وغيرها.

والجدول 3-5 يعطى قيم تقريبية للأحمال العامة (Sockets) فى الأماكن المختلفة كما فى الكود الكويتي.

جدول 3-5 : أحمال تقديرية للمخارج العامة

المكان	الحمل التقريبى W/m^2
المكاتب / غرف الاجتماعات/المنازل	50 – 30
المحلات	60 – 40
الفصول	20-10
المطابخ	2 : 6 Circuits (each of 20A)

3-2-3 تقدير أحمال التكييف

نشير فى البداية إلى أن التقدير الدقيق لحسابات التكييف ليس من مسئولية مهندس الكهرباء بل مسئولية مهندس التبريد والتكييف، لكن يجب على مهندس الكهرباء أن يكون على الأقل ملماً بطرق الحسابات التقريبية لأحمال التكييف. والشائع فى بعض البلاد مثل مصر أن يتم تركيب وحدات منفصلة Split units لتبريد الغرف المختلفة، ويمكن الرجوع للجدول 3-6 لتقدير الحمل الكهربى المناسب حسب المساحة طبقاً للكود المصرى.

ملحوظة : في حالة الأجهزة بارد/ ساخن فإن السخانات الكهربية تعمل شتاءً بينما يعمل الـ Compressor صيفاً، وبالطبع فإنهما لا يعملان معا فى وقت واحد، وفى الغالب يكون هناك فرق بينهما لكن غير كبير، ولذا نستخدم الأكبر منهما (وهو حمل التبريد) فى الحسابات.

جدول 3-6 : سعات وقدرات الوحدات الـ Split

القدرة الحرارية للوحدة		قدرة الوحدة الكهربية		نظام التشغيل	المساحة المخدومة (م²)
BTU/Hr	(طن تبريد)	بارد فقط kW	بارد/ساخن kW		
12000	1	1.540	1.5	1/50/220	12 – 10
18000	1.5	1.930	1.6	1/50/220	18 – 15
24000	2	2.670	2.670	1/50/220	25 – 20
36000	3	3.745	4.20	1/50/220	30 – 25
42000	3.5	3.5	4.50	3/50/380	40 – 35
48000	4	4.5	5.00	3/50/380	50 – 40
60000	5	6.25	7.00	3/50/380	60 – 50

وللحســابات الســريعة يمكن اعتبار حمل التبريد يســاوى واحد طن لكل 10 متر مربع في حالة اســتخدام التكييفات العادية كما في مصــر، أما فى حالة اســتخدام التكييف المركزى فإننا في مصــر نحتاج إلى طن تبريد واحد لكل 20 متر مربع تقريباً (لاحظ فرق الكفاءة واضــح لصــالح التكييف المركزى لكن بالطبع على حساب السعر وعلى حساب توافر سقف ارتفاعه لا يقل عن 3.4 متر).

أما فى دول الخليج – نأخذ الكويت على ســبيل المثال – حيث ترتفع درجة الحرارة فوق الخمســين درجة مئوية فالشــائع هو اســتخدام نظام التكييف المركزى Central Air Condition لتكييف المنزل بالكامل، ومن ثم ترتفع قيمة أحمال التكييف بشدة مقارنةً بالدول ذات المناخ المعتدل.

وتحسب أحمال التكييف التقديرية (تبريد هواء) طبقاً للمواصفة رقم MEW/R-6 كما يلى:

فى المنازل	65 W/m^2
فى المكاتب	70 W/m^2
فى المحلات	90 W/m^2
فى المولات الكبيرة	80 W/m^2
فى المساجد	120 W/m^2
فى المدارس	100 W/m^2
فى الصالات العامة	145 W/m^2

وكحساب سريع هناك يمكن استخدام قيمة تتراوح بين $3.5 - 5.5\ ton/100m^2$ لأن التكييفات هناك كلها مركزية.

ملاحظة :

لاحظ أن القيم التقريبية ليست قيمة واحدة بل تقع بين قيمتين، وذلك لأن حسابات التكييف تتضمن عناصر متعددة منها عدد الأشــــخاص المتواجدين بالمبنى، و نوع الأجهزة و المعدات الموجودة فيه، ومســــاحات النوافذ، وهل هناك أشــجار حول المبنى أم لا، وهل واجهة المبنى شــرقية أم غربية، وما نوع ودرجة جودة العوازل المســتخدمة فى الحوائط والأســقف، إلخ. وكثرة هذه المتغيرات تجعل من المســتحيل اســتخدام قيمة واحدة، لكن يمكن للمصــمم أن يختار قيمة بين هاتين القيمتين طبقا لتقديره الشــخصــى. وفى كل الأحوال

لابد من قيمة دقيقة فى المرحلة النهائية لتصميم المشروع، وهذه القيمة تحسب بواسطة مهندس التكييف وليس مهندس الكهرباء.

وتجدر الإشارة إلى أن تزايد الاعتماد على الأجهزة الكهربية المختلفة يعنى بالضرورة تزايد حمل التكييف حتى مع ثبات عدد الأشخاص فى الحيز الواحد، وذلك ببساطة لأن كل استهلاك للطاقة ينتج عنه طاقة حرارية بالضرورة، وهذا يستلزم زيادة قدرة جهاز التكييف للتخلص من هذه الحرارة الإضافية. فكل طاقة كهربية قدرها 1 W وتعمل لمدة ساعة واحدة سوف تولد كمية من الحرارة قدرها 3.4 BTU، فزيادة مستوى الإنارة مثلا تتطلب زيادة قدرات وحدات التكييف، نتيجة زيادة الحرارة المتولدة من اللمبات (مالم نستخدم لمبات الـ Led التي تتميز بأنها لا تشع حرارة تقريباً) ، وكتقدير تقريبى فإن كل 100 كيلو وات ساعة إنارة تستهلك حوالى 20 kWH زيادة في استهلاك التكييف.

3-2-4 أحمال الخدمات العامة

بالإضافة إلى أحمال الإضاءة الداخلية والمخارج العامة – وكذلك التكييف كما فى الجزء التالى – هناك أحمال تمثل منافع عامة لكافة السكان، من أهمها المصاعد، ومضخات رفع المياه. وهناك بالطبع أحمال أخرى لكنها أقل فى التأثير منهما مثل إنارة السلم أو المداخل.

وأحمال المصاعد والمضخات يقوم بتقديرها مهندس الميكانيكا، ثم تضاف إلى إجمالي أحمال الإنارة والمخارج والتكييف. ويمكن تقدير حمل المصعد الواحد بحمل تقديرى يتراوح بين 15 kW -25 حسب ارتفاع المبنى وعدد المستخدمين، كما يمكن تقدير المضخة الواحدة بحوالى 5 kW.

وفى الجزء الثانى من هذا الفصل بعض الحسابات التفصيلية للمصاعد، وأخرى لمضخات الحريق والصرف الصحى.

3-3 أمثلة على تقدير الأحمال بالطريقة الثالثة

تقدير الحمل في المرحلة الأولى من التصميم يكون كما ذكرنا من خلال المساحات فقط أو باستخدام المساحات مع معرفة التقدير المستخدم للأحمال الرئيسية (الإنارة– البرايز Sockets – التكييف) في الكود، كما في الأمثلة التالية.

مثال 3 -1

احسب الحمل المبدئي لمسجد بالكويت مساحته 500 متر مربع.

الحل:

أحمال الإنارة التقريبية = $30\ W/m^2 \times 500 = 15000$ وات.

أحمال التكييف التقريبية = $120\ W/m^2 \times 500 = 60000$ وات.

ولأن طبيعة المسجد لا يناسبها تقدير أحمال المخارج العامة Sockets بطريقة المتر المربع، فالأفضل أن يكون التقدير حسب عدد المخارج، وبفرض وجود 20 مخرج عام داخل المسجد، فإن الأحمال العامة التقريبية = $100 \times 20 = 2000W$) .

وبالتالى فالحمل المبدئي لهذا المسجد يساوى تقريباً 77 kW (77= 2+ 60 +15)، وبالطبع قد يختلف قليلاً عند الانتهاء من التصميم النهائى للمشروع، لاسيما بعد إضافة أحمال السخانات.

لاحظ أن حمل التكييف يمكن تقديره بوحدات BTU، على أساس $660BTU/Hr/m^2$، وهذا يعنى أننا نحتاج لهذا المسجد إلى حوالى $660 \times 500 = 330000\ BTU/Hr$، وهو ما يعادل تقريباً $12000 \div 330000 = 27.5$ طن تبريد، وهذه القيمة تعادل كهربياً ما يساوى تقريباً ($27.5 \times 2.2) = 60\ kW$، وهى قيمة قريبة جداً من القيمة السابقة (بفرض أن معامل التحويل هى قيمة وسطية = 2.2). مع الأخذ فى الاعتبار أن جميع هذه القيم هى قيم تقديرية مبدئية ويجب أن تراجع فى الحسابات النهائية.

مثال 3-2

احسب الحمل الكهربى لعمارة سكنية مكونة من 12 شقة، والمساحة الفعلية لكل شقة تساوى 150 متر مربع؟

الحل

لاحظ هنا فى البداية استخدام مصطلح "المساحة الفعلية للشقة"، فمن المعلوم أن مساحة الشقة المدونة بعقد البيع تكون دائماً أكبر من المساحة الحقيقية الفعلية للشقة، لأن المساحة المدونة بالعقد تشتمل على نسبة من المنافع العامة للعمارة مثل السلالم والمناور وغيرها، فالشقة التى مساحتها 180 متر مربع ربما لا تزيد المســـاحة الفعلية داخلها عن 150 متر مربع. وبالطبع فإننا عند حســـاب الأحمال الكهربية لا نلتفت للمساحة المدونة بالعقد بل للمساحة الفعلية للشقة.

وفى المثال الحالى فإننا نحسب الحمل الكهربى لكل شقة كما يلى:

- أحمال الإنارة = 15 × 150 = 2250 W

(على اعتبار $15\ W/m^2$ (اللمبات موفرة) وغير ذلك استخدم 30 بدلاً من 15)

- الأحمال العامة = 150 × 50 = 7500 W (على اعتبار 50 W/m2)

- أحمال التكييف = 150 × 65 =W 9750

(على اعتبار تكييف مركزى $65\ W/m^2$ – لاحظ أننا لو اســـتخدمنا تكييف وحدات ســـنفترض وجود 3 مكيفات قدرة كل منهما 4 حصـــان وإجمالي قدرتهم يصـــل تقريباً لنفس القيمة الســـابقة لو كان التكييف مركزى)

- الحمل الكلى للشقة = 9750 + 7500 + 2250 = 20 kW تقريباً.
- الحمل الكلى للعمارة = 12 × 20 = 240 kW.

ويجب أن تضاف بعد ذلك أحمال الخدمات العامة للمبنى (المصاعد والمضخات) .

مثال 3-3

احســــب الحمل التقديرى لمبنى بالكويت مكون من 20 دور، منهم 3 أدوار تجارية مســـاحة كل منهم $200m^2$، وهناك أيضا 17 دور إداري مساحة كل منها $100\ m^2$ ويفترض أن تشغل بمكاتب إدارية.

الحل:

طبقاً للمواصفات الكويتية فإن الأحمال الأساسية تقدر كالتالى:

المكاتب : 30 W للإنارة (وهى القيمة المحددة فى الكود للمكاتب) ، 50 W للمخارج، 70W للتكييف وكل ذلك لكل متر مربع

المحلات : 60 W لإنارة، 60W للمخارج، 90 W للتكييف

وعليه فإن إجمالي الأحمال التقديرية يكون كالتالى:

$$(30 + 50 + 70)\ W/m^2 \times 17 \times 100m^2 + (60 + 60 + 90)\ W/m^2 \times 3 \times 200m^2 = 381\ kW$$

وتضـاف قيمة تقديرية لثلاثة مصـاعد على الأقل (قدرة كل منهم 25kW نظراً لارتفاع المبنى)، و أيضـا ثلاثة مضـخات للمياه قدرة كل منهم 5kW، لتصـبح القدرة الإجمالية المضـافة تسـاوى 90 kW، وعلى هذا يصـبح الحمل التقديرى يساوى تقريباً 471 kW.

لكن مؤســـسة الكهرباء المعنية بتوصـيل الطاقة تعتبر أن الأحمال متباعدة بنسـب تختلف حسـب طبيعة المناطق السكنية ومن ثم يصبح تقدير الحمل لكل متر مربع من وجهة نظر شركة الكهرباء أقل من تقدير المهندس المصمم كما سنشرحه تفصيلاً في الجزء التالى.

وفى ملاحق الكتاب نماذج لجداول حسـابات أحمال الشـقق السـكنية فى مؤسـسـة الكهرباء السـعودية وفى نطاق القاهرة الكبرى.

3-4 تقدير الأحمال في المرحلة النهائية للمشروع

فى المرحلة النهائية للمشـروع سـيكون مطلوباً من المهندس الجلوس مع مهندســي شـركة التوزيع لمناقشــة القدرة التي سيتم التعاقد عليها. وقبل هذه الجلسة سيحتاج مهندس المشروع لتجهيز المعلومات التالية:

1- مجموع الأحمال المركبة Total Connected Load، TCL.

2- تحديد معامل القدرة Power Factor للأحمال وتصــميم دوائر الـــــــــ Power Factor Correction.

3- تقدير ما يعرف بمعاملات تخفيض تقدير الأحمال وهما Demand Factor and Diversity Factor، ومعامل الـ Load Factor.

4- تحديد الاعتمادية المطلوبة Reliability لأنه على ضــوء متطلبات العميل في هذه النقطة ســيتم تحديد أسـلوب التغذية المناسـب للمشـروع، فمثلاً لو مطلوب اعتمادية عالية سـيسـتلزم ذلك التعاقد على مصدرين مختلفين للتغذية.

5- تحديد الحمل الأكبر بالمشروع وتأثيره على الشبكة لحظة الــ Switching خاصة في المشروعات الكبيرة التي يمكن أن يؤثر دخول حمل كبير مثلاً على جهد الـــــــ Bus Bar، BB في محطة المحولات.

3-4-1 مفهوم عامل الطلب Demand Factor

ليس من الطبيعى عندما نتحدث عن أحمال الإنارة مثلاً فى المبنى أن نفترض أن تعمل كافة اللمبات فى وقت واحد، بل الطبيعى هو أن تعمل نســبة معينة فقط (يســمى أيضــا Utilization Factor) من حمل الإنارة الكلى، وتكون بالطبع أقل من 100%. وتسمى هذه النسبة بعامل الطلب Demand Factor، هو نسبة الطلب الأقصى للحمل فى منظومة كهربية إلى مجموع الأحمال المتصلة بهذه المنظومة. وهذا المعامل DF يمكن تطبيقه :

1- إما على الحمل الكلى للمبنى إجمالاً، فنقول مثلاً أن معامل الطلب في البنوك على الحمل الكلى هو 80-75% مثلا كما في الجدول 3-7 المأخوذ من الـ NEC.

لاحظ أن الأرقام في هذا الجدول قد تبدو غريبة، فمثلا في المستشفيات تصل قيمة هذا المعامل ما بين 38-42% فهل هذا منطقى؟ بالطبع نعم. لأن المستشفيات تحتوى على أعداد كبيرة من الأجهزة عالية القدرة مثل أجهزة الأشعة وغيرها وهى لا تعمل في وقت واحد ومن ثم فمن الطبيعى أن يكون الرقم هكذا (بالنسبة لإجمالي الأحمال).

2- أو يمكن تطبيقه على كل نوعية واحدة منفصلة من الأحمال، فنقول مثلاً أن معامل الطلب الـ Demand Factor لأحمال الإنارة فى العمارات السكنية لا يقل عن 90%، و هو يختلف عن الـ Demand Factor على البرايز مثلاً الذى يصل إلى 50% وقد يصل إلى 20%. وقد تم عمل جداول تقديرية لعامل الطلب للأحمال المختلفة. وهذا الأسلوب هو الأكثر استخداماً من الأسلوب الأول.

جدول 3-7

	Demand Factor
Communications – buildings	60-65
Telephone exchange building	55-70
Air passenger terminal building	65-80
Aircraft fire and rescue station	25-35
Aircraft line operations building	65-80
Academic instruction building	40-60
Applied instruction building	35-65
Chemistry and Toxicology Laboratory	70-80
Materials Laboratory	30-35
Physics Laboratory	70-80
Electrical and electronics systems laboratory	20-30
Cold storage warehouse	70-75
General warehouse	75-80
Controlled humidity warehouse	60-65
Hazardous/flammable storehouse	75-80
Disposal, salvage, scrap building	35-40
Hospital	38-42
Laboratory	32-37
Dental Clinic	35-40
Medical Clinic	45-50
Administrative Office	50-65
Single-family residential housing	60-70
Detached garages	40-50
Apartments	35-40
Fire station	25-35
Police station	48-53
Bakery	30-35
Laundry/dry cleaning plant	30-35
K-6 schools	75-80
7-12 schools	65-70
Churches	65-70
Post Office	75-80
Retail store	65-70
Bank	75-80
Supermarket	55-60
Restaurant	45-75
Auto repair shop	40-60
Hobby shop, art/crafts	30-40
Bowling alley	70-75
Gymnasium	70-75
Skating rink	70-75
Indoor swimming pool	55-60
Theater	45-55
Library	75-80
Golf clubhouse	75-80
Museum	75-80

ويرجع في قيم هذه المعاملات إلى الكود الخاص بكل بلد. فيمثل الجدول 3-8 حالات السماح باستخدام معاملات تخفيض تقدير الأحمال التصميمية للدوائر فى المباني حسب الكود المصرى.

ملحوظات هامة:

1- هذه الجداول استرشادية ويترك للمصمم تقدير المعاملات حسب الاستخدام.

2- يعتبر DF لأى حمل يعمل أكثر من 3 ساعات متصلة = 1.

3- القيم بعد تطبيق الـ DF تمثل الحد الأدنى الذى لا يصح النزول عنه.

جدول 3-8

نوع الحمل	عمارات تتكون من عدة وحدات سكنية	وحدة سكنية أو وحدات سكنية خاصة	فنادق صغيرة أو مباني عامة للنوم والمعيشة	مكاتب ومتاجر ومباني عامة خلاف الورش والمصانع
الأجهزة الكهربائية الثابتة خلاف المحركات والسخانات وأجهزة الطهي	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز. +50٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز +33٪ من الحمل الكامل للجهاز الثاني الذي يلي أكبر جهاز +20٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من إجمالي الحمل الكامل لمجموع الأجهزة حتى سعة 10 أمبير +50٪ من الحمل للأجهزة التى حملها يزيد عن 10 أمبير	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز +80٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز +60٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز +75٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة.
أجهزة الطهي الثابتة	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز +50٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز 33٪ من الحمل الكامل للجهاز الثاني الذي يلي أكبر جهاز +20٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من الحمل الكامل للأجهزة حتى 10 أمبير. +30٪ من الحمل المقنن الزائد على 10 أمبير +5 أمبير إذا كان يوجد بالجهاز مخرج إضافي.	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز. +80٪ من الحمل الكامل للجهاز الأول الذي يلي أكبر جهاز. +60٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة	100٪ من الحمل الكامل لأكبر جهاز. +80٪ من الحمل الكامل للجهاز الذي يلي أكبر جهاز. +60٪ من الحمل الكامل لباقي الأجهزة
المحركات الكهربائية "خلاف محركات المصاعد التي لها اعتبارات خاصة"	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك + 50٪ من الحمل لباقي المحركات	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك + 50٪ من الحمل لباقي المحركات	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك +50٪ من الحمل الكامل لباقي المحركات.	100٪ من الحمل الكامل لأكبر محرك +80٪ من الحمل الكامل للمحرك الذي يلي أكبر محرك. +60٪ من الحمل الكامل لباقي المحركات.
السخانات الكهربائية متقطعة التشغيل	100٪ من الحمل لأكبر سخان +100٪ من الحمل الكامل للسخان الذي يلي أكبر سخان +25٪ من الحمل الكامل لباقي السخانات.			تقدر بمعرفة المختصين تبعاً لظروف التشغيل الفعلية المحتملة.
السخانات الكهربائية مستمرة التشغيل	100٪ من الحمل الكامل في جميع الحالات.			

3-4-2 مفهوم عامل التباعد Diversity Factor

يستخدم هذا المعامل في المشروعات الكبيرة فقط، ويختلف عامل التباعد (ويسمى أيضا عامل التباين) عن الـــــ Demand Factor الذى تحدثنا عنه فى كونه لا يتعلق بنوع محدد من الأحمال كما فى حالة الـ Demand Factor ولكنه يتعلق بالتباعد الزمنى (لذا يســمى أيضــا Simultaneous Factor) عند تشـــغيل مجموعة أحمال ذات طبيعة مختلفة، فقد يكون عامل الطلب لحمل الإنارة 90% وعامل الطلب لحمل المخارج العامة 20 %، لكن سيظل هناك سؤال: **ما هو احتمال أن تعمل الإنارة والمخارج فى وقت واحد؟**

الإجابة عن هذا الســؤال هى عامل التباعد (بمعنى أن عامل التباعد (Diversity factor) هو تباعد بين أحمال ذات طبيعة مختلفة، بينما عامل الطلب (Demand factor) فهو تباعد بين أحمال من نفس النوع.

وغالباً يســتخدم هذا المعامل لتخفيض تقدير الأحمال إذا كان لدينا أكثر من محول في تغذية المبنى حيث طبيعة الأحمال على المحولات متنوعة فيتم تطبيق هذا المعامل عليها، بينما فى التصـــميمات ذات الحجم الصـغير والمتوسط فإننا نأخذ معامل التباعد بقيمة تساوى واحد صـحيح، حيث نحتاج لحسابه بطريقة دقيقة إلى دراسـات مفصـلة لا داع لها في الأحمال الصـغيرة، وبالتالى يمكن فى حالة الشـقق السـكنية الصـغيرة والمتوسطة أن نعتبر الأحمال المختلفة تعمل فى وقت واحد.

3-5 أمثلة على تخفيض تقدير الأحمال

مثال 3-4

إذا فرضـنا أن أحمال مبنى ما في مصـر هي 1128 kVA للأحمال العامة و 95 kVA للخدمات. ما هى قدرة المحول المناسبة؟

الحل:

مجموع الأحمال 1223 kVA بدون تطبيق معاملات تباين عليها، وإذا فرضـــنـا أن المحول لا يزيد تحميله عن 80٪ من سعته، فإن سعة المحول المطلوب هي

$$\frac{1223}{80\%} = 1528.75$$

وبالتالى تكون أقرب سعة محول مناسبة هي 2000 kVA

أما في حال تطبيق معاملات تخفيض تقدير الأحمال فيراعى أن يكون تطبيق معامل تباين فقط على الأحمال العامة، لأن أحمال الخدمات لا يطبق عليها معاملات تباين.

فإذا ما افترض معامل تباين قيمته 70٪ مثلا فيكون الحمل المطلوب = 1128 × 70٪ + 95 = 885 kVA، وبالتالي يكون قدرة المحول التقريبية:

$$\text{Transformer Capacity} = \frac{885}{80\%} = 1106\text{kVA}$$

وبالتالى يكون المحول المناسب بسعة 1500 kVA.

وفي السعودية الأمر أيضا منظم جدا، فهناك جداول تفصيلية لمعاملات تخفيض تقدير الأحمال Demand Factor، حيث تجد بالجداول (راجع الملحق) قيمة الحمل الكلى Total Connected Load لكل مساحة (حسب جهد التشغيل المستخدم) وقيمة القاطع CB المناسب للوحة حسب هذه القيمة، والحمل التقديرى باستخدام الـ DF وهى القيمة التي سيأخذها مهندس الوزارة (وليس الاستشاري) في الاعتبار عند حسابه لحمل المشروع.

مثال 3-5

فى مبنى بالسعودية، إذا كان لدينا اللوحة العمومية لأحمال الإنارة تغذى 5 شقق سكنية مساحة كل منها 200 متر وتغذى معهم أيضا 3 محلات تجارية مساحة كل منهم 100 متر مربع. إحسب الحمل التصميمى للوحة العمومية، من وجهتى نظر المهندس المصمم ومهندس الوزارة.

الحل:

طبقاً للكود الوارد فى الملاحق فالشقة مساحة 200 متر حملها التقديرى 32 kVA، لكنها من وجهة نظر المؤسسة فإن حملها يساوى فقط 16 kVA (DF = 0.5) . أما المحلات مساحة 100 متر فحملها التقديرى 22 kVA ويقدر بـ 13.2 kVA فى مؤسسة الكهرباء. وعلى هذا يكون الحمل الكلى لهذا المبنى :

1- من وجهة نظر المهندس المصمم (وعليه ستحسب قيم الـ CBs والكابلات) =

5 x 32 + 3 x 22 = 226 kVA

2- من وجهة نظر مهندس الوزارة (وعليه تقدر أحمال المحول الرئيسى للمنطقة) =

5 x 16 + 3 x 13.2 = 119.6 kVA.

3-6 نموذج للنوتة الحسابية للمشروع

هذا الجزء مثال تطبيقى على مشروع متكامل لحساب إجمالي الأحمال، مع الأخذ فى الاعتبار قيم معاملات التباعد.

وسنفترض هنا أن لدينا مشروع سكنى (Compound) مكون من مجموعة من العمارات (57 عمارة نموذج A و67 عمارة نموذج B) ، والنموذجان متماثلان فى المساحة لكنهما مختلفان فى التصميم ولذا فقد اختلف الاسم.

ولحساب الحمل الكلى للمشروع نحتاج لعمل ما يسمى بالنوتة الحسابية، وهى أهم ما يناقش مع شركة التوزيع التى تتبعها هذه العمارات، فالذهاب للتعاقد على توصيل الكهرباء لمثل هذه المشروعات يختلف تماماً عن التعاقد لتوصيل الكهرباء لشقة مثلاً، فالحمل هنا سيكون كبيراً وستحتاج كابلات جهد متوسط تغذى من خليتين أو أكثر من أقرب موزع إن وجد. وإلا، فربما تطلب شركة التوزيع منك أن تساهم معها فى بناء موزع جديد (على أرضك وتدفع أنت تكاليفه) ثم تعطيك الشركة عدد الخلايا التى تحتاجها، والباقى يصبح ملكا لشركة التوزيع تستخدمه مع عملاء آخرين. ورغم غرابة العرض لكنك فى الغالب ستوافق!!!.

فى السـعودية مثلا يتحمل المسـتهلك جزء من التكلفة على حسـب القدرة التى تغذي مشـروعه فقط، والباقى تتحمله شركة الكهرباء السعودية، لكن يتحمل المستهلك الأول قطعة الأرض التى تستقطع من أرضه لتغذية مشروعه وتغذية مشاريع أخرى.

وبالطبع فالنوتة الحسـابية لن تشـمل فقط أحمال الشـقق السـكنية بل جميع الأحمال الكهربية بالمشـروع مثل إنارة الشـــوارع والحدائق والمولات (إن وجدت) إلخ. والجدول التالى يعطى الخطوة الأولى فى الحســـابات للمشروع حيث تظهر المعلومات الأساسية للحسابات.

أحمال منطقة العمارات السكنية									
م	اسم النموذج	مساحة كل دور(م٢)	عدد الأدوار بكل عمارة	الحمل التقديري (ك.ف.أ/١٠٠م٢)	حمل العمارة بدون الروف ك.ف.أ	الروف ٢٥% من مساحة الدور الأرضي	الحمل التقديري (ك.ف.أ/١٠٠م٢)	حمل الروف ك.ف.أ	حمل العمارة ك.ف.أ
1	A	554	4	10	221.6	138.5	10	13.85	235.5
2	B	554	4	10	221.6	138.5	10	13.85	235.5

والجدول التالى يشـــتمل على الأحمال الميكانيكية لكل عمارة، حيث افترضـــنا وجود 4 أحمال ميكانيكية (تحتاج محركات كهربية طبقاً للأحمال التقديرية المذكورة وتشمل حمامات سباحة غالبا ومضخات مياه).

الأحمال الميكانيكية الخاصة بكل عمارة(حمامات السباحة)						
م	اسم الحمل	العدد	الحمل التقديري (ك.ف.أ)	اجمالي كل حمل بالعمارة	معامل الطلب	الحمل الكلي
1	أحمال ميكانيكية	4	12	48	0.5	24
إجمالي الأحمال الميكانيكية لكل عمارة (ك.ف.أ)						24
احمال العمارات السكنية شاملة الاحمال الميكانيكية						

ومجموع الأحمال السابقة تدون فى الجدول التالى

م	اسم النموذج	أحمال الشقق السكنية	الاحمال الميكانيكيه	اجمالي حمل العمارة(ك.ف.أ)	معامل الطلب للعمارة	الحمل المطلوب للعمارة(ك.ف.أ)	عدد العمارات لكل نموذج	حمل كل نموذج	معامل التشتت عند كل محول	الحمل النهائي للعمارات (م.ف.أ)
4	A	235.5	24	259.5	0.8	207.6	57	11830.9		
5	B	235.5	24	259.5	0.8	207.6	67	13906.5		
إجمالي أحمال العمارات السكنية (م.ف.أ)								25.7	0.7	18.0

وهناك أحمال الخدمات العامة فى الجدول التالى:

أحمال الخدمات العامة								
م	اسم المكان	المساحة(م٢)	عدد الادوار	الحمل التقديري (ك.ف.أ/١٠٠م٢)	الحمل الكلي (ك.ف.أ)	معامل الطلب	الحمل الكلي(ك.ف.أ)	معامل التشتت	الحمل النهائي (ك.ف.أ)
1	مول	6300	3	12	2268	0.80	1814.4	1.0	1814.4
2	نادي	1600	3	4	192	0.80	153.6	1.0	153.6
3	سينما	1600	2	8	256	0.80	204.8	1.0	204.8
4	حضانة	240	1	4	9.6	1.00	9.6	1.0	9.6
اجمالي احمال منطقة الخدمات (ك.ف.أ)									**2182.4**
اجمالي احمال منطقة الخدمات (م.ف.أ)									**2.2**

وأحمال الـ Land scape (الحدائق والطرقات)

احمال اللاندسكيب والطرقات الداخلية					
م	المنطقة	المساحة (م٢)	الحمل التقديري	الحمل (ك.ف.أ)	اجمالي الأحمال (ك.ف.أ)
8	اللاندسكيب	69797	2	1395.940	2784.5
9	الطرق	69430	2	1388.60	
أجمالي احمال منطقة اللاندسكيب والطرقات (م.ف.أ)					**2.8**

وبالتالى تكون الأحمال الإجمالية

إجمالي أحمال الكمبوند		
م	**اسم الحمل**	**الحمل (م.ف.أ)**
1	العمارات السكنية	18.0
2	منطقة الخدمات	2.2
3	اللاندسكيب والطرق	2.8
اجمالي أحمال الكمبوند(م.ف.أ)		**23.0**
معامل التشتت		**0.8**
اجمالي أحمال الكمبوند(م.ف.أ)		**18.4**

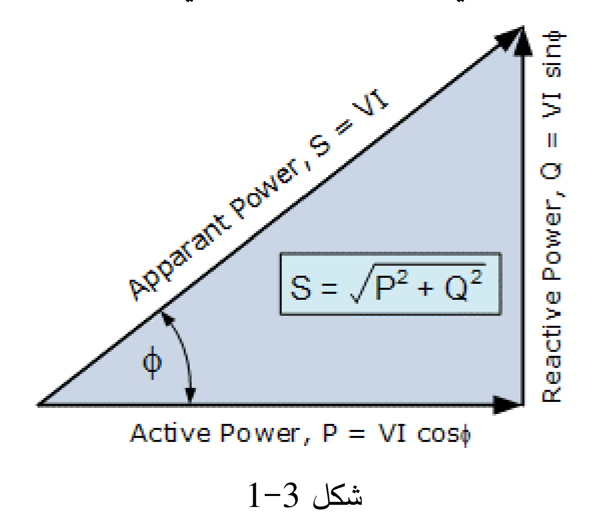
ملاحظة: تقدير Demand Factor and Diversity Factor يخضـــع للتفاوض أحياناً، لكن القيم المذكورة هى الأكثر واقعية. ويمكن الاستئناس بالجداول المذكورة فى الملحق الأخير بالكتاب.

3-7 تخفيض الأحمال بتحسين معامل القدرة

هذا الجزء خاص بتحسين معامل القدرة Power Factor، وسنعتبره من ضمن المواضيع المتعلقة بتقدير الأحمال لأن النتيجة النهائية له هى خفض القدرة التعاقدية لصاحب المبنى أو المشروع مع وزارة الكهرباء.

لو تخيلنا فى البداية أن لدينا محرك يدخل إليه تيار قدره I تحت فرق جهد قدره V، فإننا نقول أن القدرة الظاهرة Apparent Power، S تساوي $S = I\times V$، أى أن الظاهر لنا أن قدرة هذا المحرك تساوى S، لكن هل بالفعل ستتحول كل هذه القدرة إلى حركة بفرض أن الكفاءة تساوي % 100 ؟.

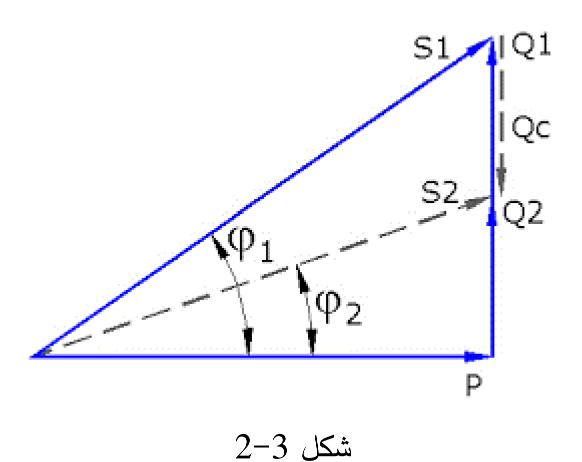
بالطبع لا، لأن هذه القدرة تنقسم داخل المحرك إلى جزأين : الجزء الأول يسمى Active Power، P، و يقاس بالـW ، والجزء الثاني يسمى Reactive Power، Q، و يقاس بـVAR . و الجزء الأول هو فقط (P) هو الذي نستفيد منه و يتحول بالفعل إلى طاقة حركية، أما الجزء الثاني (Q) فينحصر دوره في توليد مجال مغناطيسي ليتمكن المحرك على الدوران. أى أن الجزء الثاني هو عامل مساعد فقط. و مثلث القدرة المشهور يبرز علاقة الثلاثة أنواع من القدرة ببعضهم البعض كما فى شكل 3-1. وتسمى الزاوية φ بين P و S بزاوية القدرة Power Angle، ويسمى Cosine هذه الزاوية بمعامل القدرة Power Factor.



شكل 3-1

وواضح من الشكل إنه كلما كانت الزاوية φ صغيرة كلما كانت Q صغيرة، و كلما كانت الـــ P وهى الجزء المتحول إلى طاقة مفيدة أكبر ما يمكن، ولذا فالقدرة الفعالة P تتناســـب طردياً مع قيمة هذا المعامل حيث تحســـب (($P = V \times I \times \cos \varphi$. و بالطبع من مصـــلحتنا أن تكون قيمة $\cos \varphi$ تقترب من الواحد الصحيح.

ولكن في بعض الأجهزة تكون قيمة معامل القدرة منخفضـــة (ربما تصـــل إلى 0.3) ، و هذا يعني أن 30 % **فقط** من قيمة القدرة الداخلة للجهاز (S) ستتحول إلىP و سنستفيد منها. بمعنى آخر، لو تصـورنا أن لدينا مصـــنع كبير يســحب تيار قدره 1000A عند جهد 400 V مع معامل قدرة يســاوى ($\cos \varphi_1 = 0.33$) ، فهذا يعني أن مؤسسة الكهرباء قد جهزت لهذا المصنع شبكة كهربية تتحمل قدرة 400 MVA لكن هذا المصـــنع ســيســـتفيد فقط من حوالى ثلث هذه الطاقة، ومن ثم فثلثي هذه الطاقة المحجوزة لهذا المصنع لم يستفد منها. الآن لو تخيلنا أن معامل القدرة لهذا المصنع قد أصبح ($\cos \varphi_2 = 0.9$) ، بعد تحسين زاوية القدرة من φ_1 إلى φ_2 كما فى شكل 3-2، فهذا يعني أن القدرة الظاهرة Apparent Power التي سيحتاجها المصنع ستنخفض من S1 إلى S2 بفرض إنه حافظ على نفس القدرة P التى ينتجها.



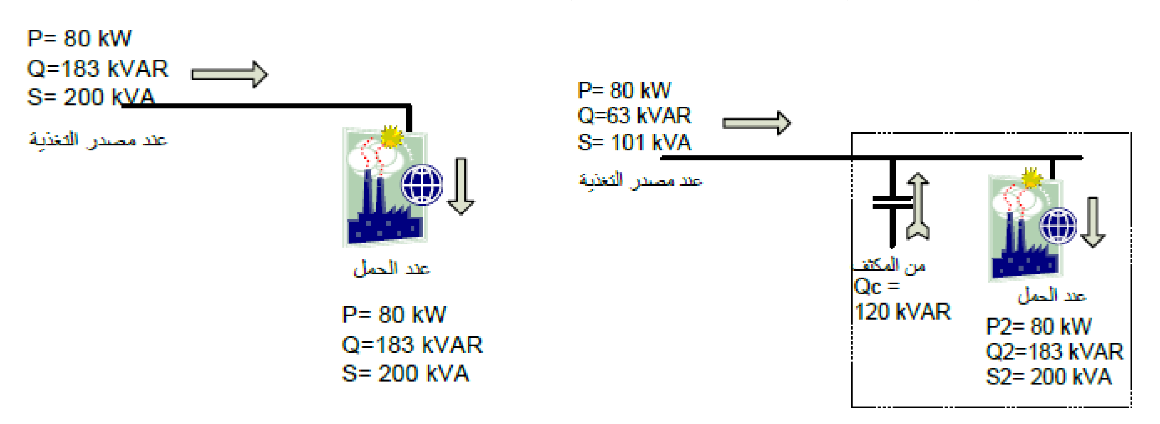
شكل 3-2

فكيف يمكن عمل ذلك ؟

هذا ما يعرف بتحســـين معامل القدرة P.F Correction، <u>حيث تركب مكثفات على التوازي مع الحمل،</u> لتغذي هذه المكثفات الحمل بجزء من الـ Reactive Power المطلوبة، بدلاً من أخذها كلها من المصدر. ومن ثم تقل قيمة Q. وحيث أن قيمة P ثابتة فلذلك ســـتقل قيمة S التى يســـحبها من مصـــدر التغذية. وبالتالى تقل قيمة الحمل التعاقدى.

على سـبيل المثال لو فرض أن لدينا مصــنع أحماله قدرها S_1 = 200 kVA، وله معامل القدرة PF= 0.4، فهذا يعنى أن يستهلك Active Power قدرها P_1 = 80kW، و يسحب أيضا Reactive Power قدرها Q_1 = 183 kVAR، وهى نفس الكميات المســحوبة من مصــدر التغذية العمومى – بفرض عدم وجود فقد فى القدرة خلال كابلات النقل – كما في شكل 3-3 (يسار).

لو فرضنا الآن أننا قد أضفنا مجموعة مكثفات على التوازى مع هذا المصنع (كما فى شكل 3-3 يمين) ، بحيث أن هذه المكثفات تضيف للمنظومة Reactive Power تساوى مثلاً Q_C = 120 kVAR فستجد أن هذا المصنع مازال يستهلك نفس الكميات السابقة من الـــ P، Q، S، وهذا طبيعى فتحسين الـ PF لا يؤثر على أحمال المصــنع الداخلية، ولكن الجديد إنه يحتاج الآن إلى Reactive Power من المصــدر العمومى قدرها (63 kVAR) فقط. لأن الجزء الباقى (120 kVAR) قد حصلنا عليه من المكثفات.



شكل 3-3

بمعنى آخر أننا كنا قبل تحســين معامل القدرة نســحب من المصــدر قدرة ظاهرة Apparent Power قـــدرها S_1 = 200 kVA، لكننا أصبحنا نسحب فقط S_2 = 101 kVA ، حيث

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} = \sqrt{80^2 + 63^2} = 101\, kVA$$

وهذا يعنى أننا خفضــنا القدرة التعاقدية من 200 kVA إلى 100 kVA بمجرد تحســين معامل القدرة. لاحظ أن معامل القدرة PF الجديد (للمصنع + المكثفات) يساوى تقريبا 0.79. حيث

$$\tan\varphi_2 = \frac{63}{80} \quad \Rightarrow\Rightarrow \quad \cos\varphi_2 = 0.79 \quad or \quad \cos\varphi_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{80}{101} = 0.79$$

3-7-1 الغرامات والحوافز

من أجل ذلك أصبحت شركات توزيع الكهرباء تفرض غرامة كبيرة على المستهلكين الكبار الذين ينخفض معامل القدرة لمؤسساتهم عن 0.92 (كانت في الماضى تساوى 0.9) . فعندما يكون معامل القدرة أقل من 0.92 فإن تعريفة تغذية الطاقة تزداد بمقدار 0.5٪ لكل 0.01 انخفاض فى معامل القدرة عن أقل قيمة مسموح بها. ويمكن حساب تكلفة غرامة معامل القدرة من المعادلة

$$Annual\ Cost\ of\ Penalty = 0.005 \times \frac{0.92 - PF}{0.01} \times Annual\ Consumption \times Tariff\left(\frac{LE}{kWH}\right)$$

وفى حالة زيادة معامل القدرة عن 0.92 (ما بين 0.92 و 0.95) فسوف تنخفض التعريفة بمقدار 0.5٪ لكل 0.01 زيادة فى معامل القدرة أكثر من 0.92 ويمكن حساب تكلفة حافز (Bonus) زيادة معامل القدرة من المعادلة (7-9) كالآتى:

$$Annual\text{cost of bonous} = 0.005 \text{ x } \left(\frac{\text{P.f - 0.92}}{0.01}\right) \text{ x Annual consumption(kwhr) x tariff}$$

3-7-2 حساب سعة المكثفات المطلوبة

يمكن من شكل 3-2 حساب قيمة Q_C التي تضاف لتحسين الـ Power Angle من φ_1 إلى φ_2 باستخدام المعادلة التالية :

$$Q_C = P(\tan\emptyset_1 - \tan\emptyset_2) \quad Eq.3-1$$

ومنها يمكن حساب قيمة الـC للمكثفات المطلوبة من المعادلة

$$C = \frac{Q_C}{\omega \times V^2} \quad Eq.3-2$$

لاحظ أن جميع القيم فى المعادلتين السابقتين هى *Per Phase*.

مثال 3-6

احسب قيمة الــــ C للمكثف المناسب لتحسين معامل القدرة من 0.7 إلى 0.95 فى أحد المصانع التى قدرتها الإجمالية 500 kW وجهد التشغيل 11 kV.

الحل:

من قيم الـ PFs نجد أن من Eq 3-1، وحيث أن $\varphi_1 = 45$، و $\varphi_2 = 18$ (مستنتجة من قيم الــ PF)

$$Q_C = P[\tan\phi_1 - \tan\phi_2] \quad = \frac{500,000}{3}[\tan 45 - \tan 18] = 115 \quad kVAR \ (per-phase)$$

ومن Eq. 3-2 نجد أن سعة المكثف Per-Phase =

$$C = \frac{Q_C\,(per-phase)}{V^2\omega} = \frac{115000}{(11000/\sqrt{3})^2 \times 2\pi \times 50} = 9\ \mu F$$

3-7-3 التحسين باستخدام جداول الحسابات

يمكن حساب قيمة الــــ KVAR المطلوبة لتحسين معامل القدرة من قيمة معينة منخفضة إلى قيمة محسنة باستخدام الجدول رقم 3- 9 (مع ملاحظة أن هذا الجدول يصلح لجميع قيم الجهود سواء المنخفضة أو المتوسطة). حيث يمثل العمود الأيسر قيمة معامل القدرة قبل التحسين بدلالة قيمة cos أو الـ tan، وعليك أن تختار واحداً من الأعمدة الرأسية الموجودة تحت العنوان " KVAR Rating of Capacitors ..... " حسب قيمة معامل القدرة المطلوب الوصول إليها. والقيمة الموجودة عند تقاطع القيمتين تمثل الــــ kVAR per kW، بمعنى أنك تحتاج فقط لضربها فى قيمة الــ kW لتحصل على سعة المكثفات المطلوبة كما فى المثال التالى.

مثال 3-7 :

باستخدام الجداول، احسب الـــــــ KVAR المناسبة للمكثفات المستخدمة في المصنع المذكور في المثال الســـابق. (مصـــنع قدرته 500 kW ومعامل القدرة له يســـاوى 0.7 والمطلوب تحســـين هذه القيمة لتصل إلى 0.95)

الحل:

باستخدام الجدول 3-9 نحدد قيمة الـــ PF القديمة (0.7) والجديدة (0.95) وعند تقاطع القيمتين ستجد أن الـ kW / kVAR تساوى 0.692 وهذا يعنى أن إجمالي الـ kVAR المطلوبة تساوى:

$$Q = 0.692 \times 500 = 346 \text{ kVAR}$$

وهذا يعنى أن القدرة per phase تساوى 115 kVAR، وهى نفس القيمة تقريباً المحسوبة بالمعادلات.

جدول 3-9 : تقدير قيم الـ kVAR / kW عند تحسين معامل القدرة

Factor K (kvar/kW)													
	final cosφ												
initial cosφ	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.60	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.01 5	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.80		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

3-7-4 التحسين الأتوماتيكي لمعامل القدرة

نظراً لتغير الأحمال من وقت لآخر فان معامل القدرة ممكن أيضا أن يتغير ، و هذا يعني أن قيمة الـــ C التى حسبناها يجب بالتبعية أن تتغير ، ومن أهم عيوب استخدام المكثفات ذات سعة ثابتة القيمة أنها تعمل على رفع جهد الشبكة الكهربية إلى قيم أعلى من الجهد المقنن في خلال فترات الـــ no load و الأحمال الخفيفة، كذلك تقل الاســـتفادة من تخفيض الفقد لأن اختيار قدرة المكثفات من هذا النوع يعتمد على قيمة ثابتة للقدرة غير الفعالة خلال ساعات اليوم الكامل.

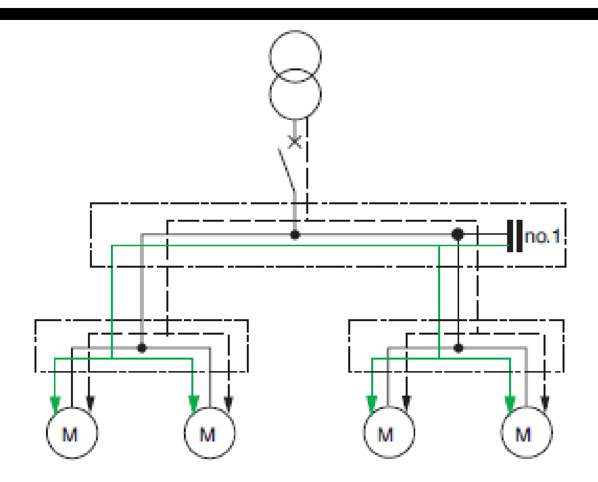
ولعلاج هذه المشـــكلة تزود لوحات التوزيع بمنظومة تحكم في قيمة C المناســـبة Automatic Power Factor Regulator، APFR، حيث يكون لدينا مجموعات منفصـــلة من المكثفات يمكن توصـــيلها على التوازي بقيم مختلفة حســـب الحاجة. و تتحكم دائرة APFR في فصـــل و تشـــغيل هذه المجموعات على مراحل و بالتالي نتحكم في قيمة الـ C عند تغير معامل القدرة. وفى شكل 3-4 نموذجا لهذه اللوحات.



شكل 3-4

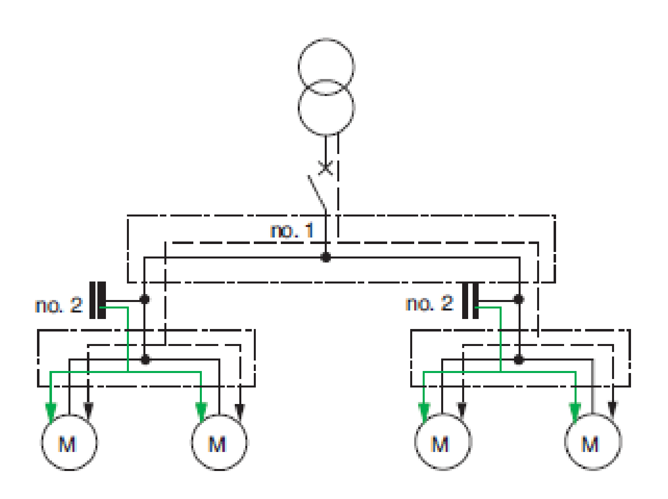
3-7-5 أين توضع المكثفات؟

هناك عدة اختيارات لأماكن وضع المكثفات، فالاختيار الأول أن تركب المكثفات على الــــ BB العمومى للجهد المنخفض كما فى شكل 3-5، وفى هذه الحالة سنحقق عدة مكاسب منها تخفيض الــــــ kVA Demand للمنشأة، و تجنب الغرامات الناتجة عن انخفاض الــــــ PF، وتخفيف الأحمال عن المحول العمومى. لكن تذكر أن تحسين الـ PF يقلل الـ kVAR المارة فى كافة الكابلات الواقعة قبل المكثفات، أما الكابلات التى تقع بعد المكثفات فسيمر بها نفس الـ kVAR الأصلية وهذا ما يعيب هذا الاختيار.



شكل 3-5

ولعلاج هذه المشـــكلة يمكن تحريك مكان المكثفات إما لتوضـــع على اللوحات العمومية للأحمال كما فى شـكل 3-6، حيث يتم تخفيف الحمل على الكابلات الرئيســية المغذية للوحات العمومية وهذا هو ما يميز هذا الاختيار الثانى. أما إذا أردت أن تخفف الأحمال عن كافة الكابلات فعليك أن تضـع المكثفات مباشرة عند الأحمال.



شكل 3-6

يجب فى جميع الأحوال دراســة مزايا تركيب مجموعات المكثفات في المواقع المختارة دراســة اقتصــادية متأنية، من حيث التكاليف اللازمة عند كل حالة والمردود الاقتصــادي لتحســين معامل القدرة حســب كل موقع آخذين في الاعتبار طبيعة الأحمال المراد تصحيح معامل القدرة لها وظروف تشغيلها بما يحقق أكبر

فائدة لكل من مؤسسة الكهرباء وللعميل معاً لما في ذلك من مدلول اقتصادي إيجابي على مستوى الناتج القومي بصفة عامة.

3-7-6 تأثير الـ Harmonics

هناك بعض المشاكل التى تنتج من وضع المكثفات على التوازى مع الأحمال من أجل تحسين الـ PF، وأخطر هذه المشاكل هى انخفاض معاوقة (Reactance) المكثفات X_C مع ارتفاع قيمة التردد حيث

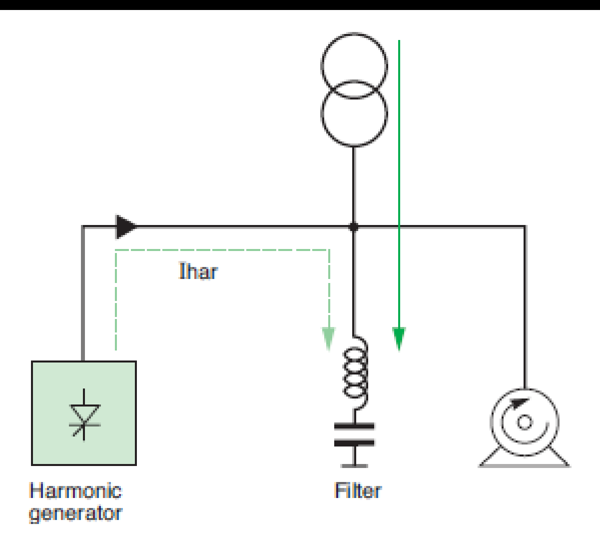
$$X_C = \frac{1}{2\pi\ f\ C}$$

وهذا يعنى أنه كلما ارتفعت قيمة التردد كلما قلت قيمة X_C، وإذا انخفضت قيمة X_C بشدة فهذا يعنى أن المكثفات أصبحت وكأنها Short Circuit مما يؤدى إلى انفجار المكثف.

والتيار الطبيعي تردده 50 Hz إذا كان Pure Sine wave وبالطبع هذا غير موجود فى الحياة العملية لأنه الشبكات الكهربية تحمل ترددات من مضاعفات الـ 50 Hz تعرف بالـ Harmonics، وأهم مصادر هذه الـ Harmonics هو الأجهزة الإلكترونية التى تحتوى على SCRs أو High-Frequency Switches، وهذه الأجهزة تتسبب فى ظهور الـ Harmonics، مع ملاحظة أن المولدات الكهربية أيضا لا تنتج Pure Sine wave.

وما يهمنا هنا أن هذه الترددات العالية (Harmonics) إذا وجدت بنسب كبيرة مقارنة بالتردد الأصلى فإنها تتسبب فى انخفاض قيمة الـ X_C بدرجة خطيرة كما ذكرنا قد تؤدى إلى حدوث Short Circuit بالمكثفات. ولعلاج هذه المشكلة يضاف Inductor صغير على التوالى مع مجموعة المكثفات كما فى شكل 3-7، وذلك لزيادة قيمة المعاوقة المكافئة Z للتيار المار بالمكثفات.

ويمكن أن نستخدم الطول الزائد فى الكابل الواصل لمجموعة المكثفات لتصنيع هذا الـ Inductor الصغير وذلك بلفه حول قلب ما عدة لفات للحصول على قيمة الـ Inductance المناسبة. وهذا الحل البسيط يصلح إذا كانت الـ Harmonics المؤثرة عبارة عن تردد محدد، أما إذا كانت الـ Harmonics متنوعة ومتغيرة من وقت لآخر ففى هذه الحالة سنحتاج لوضع Active Filter على التوازى مع المكثفات.



شكل 3-7

ملحوظات :

1- يجب أن يراعى في مرحلة التصميم أن يكون المكثف أو مجموعة المكثفات قادرة على إنتاج قدرة غير فعالة (kVAR) بنسبة 135٪ من القيمة المحسوبة، لتشمل القدرة غير الفعالة الإضافية التي تصاحب الجهود الزائدة نتيجة لظروف التشغيل غير العادية التي تمر بها المنظومة.

2- يتم اختيار قيمة الجهد المقنن Rated Voltage للمكثف بنسبة 115٪ من القيمة المتوسطة للجهد المعتاد على أساس (Rated voltage r.m.s)، علما بان قيمة القدرة غير الفعالة المطلوبة للتحسين تحسب عند جهد التشغيل وهو 400 فولت، كما يمكن زيادة هذه القيمة للجهد إلى 440 فولت في حالة تبين وجود Harmonics عالية فى الجهود أثناء القياس.

3- يجب حماية المكثفات بواسطة CB يكون الـ Long-Time-Delay Setting له فى حدود $1.3\ I_n$ بينما يكون الـ Short-Time-Delay Setting لا يقل عن $10\ I_n$ حتى لا يفصل بسبب تيارات الـ Inrush عند البدء. علما بأن I_n تحسب من المعادلة :

$$I_n = \frac{kVAR}{\sqrt{3}\,V_L}$$

$$remember : \sin\phi = 1$$

4- أما إذا استخدمت فيوزات بدلاً من الـ CBs فيجب أن تكون ذات سعة قطع عالية ومحددة للتيار (Current limiting HRC) ومن الخصائص الرئيسية لها أنها تتحمل الموجات العابرة العالية

الناتجة من تشغيل المكثفات، خاصة إنه عند حدوث Short و انصهار أحد الفيوزات الداخلية المركبة على وحدة المكثفات، فسـيحدث ارتفاع في الجهد على مجموعة المكثات المتصـلة على التوازي مع هذا الفيوز ، وللحفاظ على المكثفات يجب أن يكون زمن عمل الفيوز صـغيراً جداً بحيث يكون القطع سـريعاً جداً و ذلك قبل حدوث أى انصـهار لفيوز آخر بنفس المجموعة و بالتالي ارتفاع متتالي فى الجهد.

5- يتم اختيار الـ Contactors المستخدمة مع مجموعة مكثفات تحسين معامل القدرة على أسـاس التيـار المقنـن العادي (Rated normal current) بحيث تكون مصممة على أساس 1.5 مرة من قيمة التيار المقنن لمجموعة المكثفات.

6- الجدول 3-10 يمكن استخدامه لاختيـار الفيوز والكابل المناسب حسب قـدرة المكثفات (kVAR)، وحسب جهد التشغيل.

7- وأخيراً نشير إلى أن أهم الأحمال التي تحتاج لتحسين معامل القدرة هي المحركـات الحثية Induction Motors و اللوحات المغذية لدوائر الإنارة خاصة التى تحتوى على لمبات فلورسنت.

8- يراعى فى تصميم قدرة المكثفات المطلوبة أن تأخذ فى الاعتبار الـ reactive power المستهلكة فى قلب المحول وتحسب طبقا لقدرة المحول.

9- يراعى وجود shedding contactor يستخدم لفصل المكثفات فى حالة تشغيل مولد الطوارئ لتلافى مشكلة ارتفاع الجهد على أطراف المولد.

جدول 3-10

OUTPUT (kVAR)	RATED VOLTAGE 230 V, 50 HZ			RATED VOLTAGE 400 V, 50 HZ		
	RATED CURRENT (A)	**FUSE (A)**	**CABLE/ (mm^2)**	**RATED CURRENT (A)**	**FUSE (A)**	**CABLE/ (mm^2)**
2.5	6.3	16	2.5	3.6	10	1.5
5	12.6	25	4	7.2	20	2.5
6.67	16.7	35	6	9.6	20	2.5
7.5	19	35	6	10.80	20	2.5
8.33	21	35	6	12	20	2.5
10	25	50	10	14.4	25	4
12.5	31	63	16	18	35	6
15	38	63	16	21.7	35	6
16.7	42	80	25	24.1	50	10
20	50	100	35	28.9	50	10
25	63	125	50	36.1	63	16
30	75	125	50	43.3	80	25
33.3	84	160	70	48.1	80	25
40	100	160	95	57.7	100	35
50	125	250	120	72.2	125	50
60	--	--	--	86.6	160	70
66.7	--	--	--	96.3	160	70
70	--	--	--	101	160	70
75	--	--	--	108	160	70
83.3	--	--	--	120	200	95
100	--	--	--	**144**	**250**	**120**

الجزء الثانى:

دراسة تفصيلية لبعض أحمال القوى

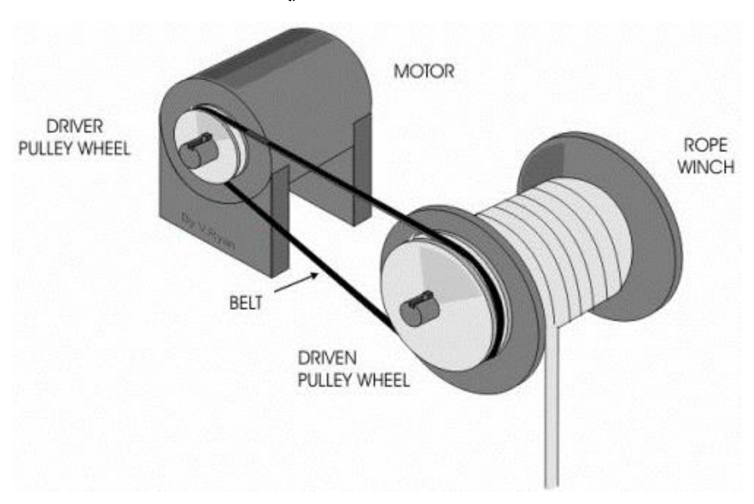
في هذا الجزء ســـنقدم مزيدا من التفاصــيل حول بعض الأحمال (المعدات) التي يكثر اســتخدامها في التركيبات الكهربية. وأهم هذه المعدات هي :

1- المحركات
2- المضخات
3- التكييفات

ولســـت بحاجة لإعادة التذكير هنا إلى بأن هذا الجزء يتعرض فقط للمعلومات التي تفيد في التركيبات، بمعنى أننا لن نتحدث مثلا عن تركيب المحرك ولا آلية دورانه (فهذا يدرس في كتب الآلات الكهربية)، إنما فقط نتحدث عن كيفية اختيار المحرك المناسـب لتطبيق معين في التركيبات الكهربية سـواء في المباني أو المصانع.

3-8 أساسيات اختيار المحرك المناسب

سـنكتفى في هذا الجزء من الكتاب بالتعامل مع المحركات في المباني والمصــانع في حالتين: إما لرفع ثقل رأسيا كما في الأوناش والمصاعد، أو لتحريك ثقل أفقيا كما في السيور Convery Belt .



هناك عدة أساليب لحساب قدرة المحرك الكهربي :

الأسلوب الأول (مناسب للسيور المتحركة Conveyer):

في هذا الأسلوب يتم حساب القدرة بمعلومية القوى Forces التي تظهر على الـــــ motor shaft نتيجة الأحمال الميكانيكية المتصـــلة بها، و ســـنفترض أن Shaft المحرك متصـــل ببكرة Pully وأن هذه البكرة سيتجمع علي محيطها هذه الـ Forces. هذه الـ Forces ستسبب حدوث Torque ميكانيكى على البكرة قدره

Torque = Force x Radius (N.m)

لاحظ أن حساب عزم المحرك لا يحتاج إلى معرفة السرعة التي سيدور بها. إنما نحتاج السرعة فقط حين نريد أن نحسب قدرة المحرك.

فإذا كان المطلوب من المحرك هو القيام بعملية دوران البكرة (بمعنى الحركة المطلوبة للحمل هي حركة دائرية) ففي هذه الحالة تحسب قدرة المحرك بمعلومية سرعة دوران المحرك (RPM) طبقا للمعادلة:

$$P(Watt) = \frac{T(N.m) \times \omega(RPM)}{9.55}$$

تذكر أن العلاقة بين السرعة الدائرية والسرعة الخطية المكافئة تحسب من العلاقة:

$$\omega = \frac{V \times 60}{2\pi}$$

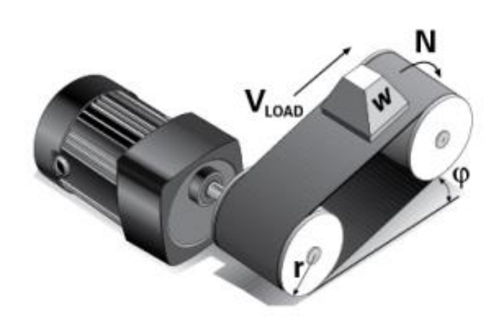
أما إذا المطلوب من المحرك هو القيام بتحريك كتلة معينة وزنها (m kg)للأمام بسرعة V (m/s) (بمعنى الحركة المطلوبة للحمل هي حركة خطية وليست دائرية) ففي هذه الحالة فإن القدرة تحسب مباشرة من المعادلة التالية :

$$P(Watt) = \frac{F(N.m) \times V\ (m \therefore s)}{6120}$$

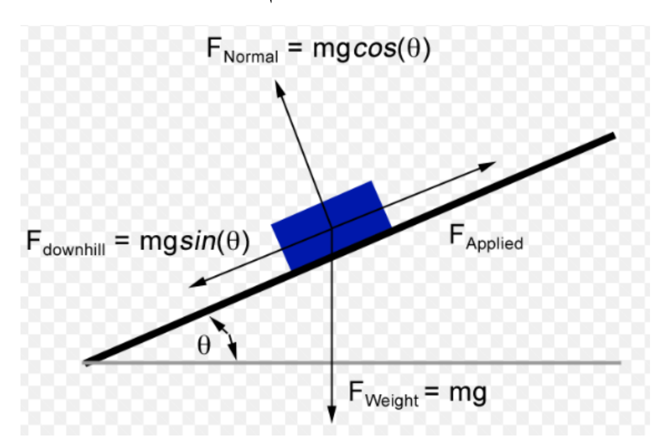
حيث F أو الـ T سيتم حسابهما بالتفصيل في الأجزاء التالية حسب طبيعة المشكلة :

حساب القدرة اللازمة لتحريك Conveyor Belt

المطلوب هنا حساب قدرة محرك متصل بأحد السيور، وهذا السير عليه كتلة mass (kg) ويسير خطيا بسرعة V(m/s)، وتدور البكرة بسرعة N(RPM)، علما بأن السير مائل بزاوية ø على المحور الأفقى كما في الشكل.



والأسس الرياضية التي يبنى عليها اختيار قدرة المحرك تفهم من تحليل القوى الذى يظهر في الشكل :



من الشكل السابق يمكن أن نستنتج أن لدينا ثلاثة أنواع من العزوم Torques المؤثرة على البكرة المفترض وجودها في نهاية المستوى المائل، وبالتالي فنحن نحتاج أن نتغلب على هذه العزوم من خلال عزم مقابل بواسطة المحرك. بمعنى آخر، أن منظومة السيور لكى تعمل بصورة صحيحة فإن المحرك يحتاج للتغلب على القوى المعاكسة التالية:

1- القوة الأولى هى قوة شد في السير نتيجة وزن الأشياء المنقولة (Gravity) وهذه القوة تساوى

$$F_1 = M_{object} \times g \times sin\theta$$

هذه القوة ستسبب عزم عند البكرة قدره :

$$T_1 = M_{object} \times g \times sin\theta \times r$$

حيث r هي نصف قطر البكرة.

وهذه القوة تسمى أيضا Gravity Force وهى موجودة فقط في السيور المائلة (أو المصاعد الرأسية)، أما لو كان السير أفقيا فهى غير موجودة.

2- القوة الثانية هى قوة شد في السير نتيجة الاحتكاك Friction Force، وهذا الاحتكاك بالطبع يزيد مع زيادة وزن الأشياء المنقولة ويتأثر بالطبع بنوعية السير والبكرة ومعامل الاحتكاك بينهما. ويمكن اعتبار أن وزن جميع الأجزاء المتحركة (الكتلة المنقولة + وزن السير نفسه + وزن البكرات الصغيرة المساعدة idlers إن وجدت) تنتقل نقطة تأثيرها إلى حافة البكرة الرئيسية المركبة على Motor Shaft مسببة هذا الاحتكاك وبالتالي منتجة عزم قدره

$$T_2 = (M_{object} \times cos\theta + M_{belt}) \times g \times \mu_{Friction} \times r$$

وهذه القوة موجودة سواء كان السير أفقيا أو رأسيا وبالطبع تكون قيمتها أكبر ما يكون إذا كان السير أفقيا..

3- العزم الثالث المطلوب التغلب عليه هو العزم الناشئ نتيجة القصور الذاتي (الـ Inertia) . وهذا النوع الثالث يظهر فقط أثناء عملية التسارع فقط، فلو فرضنا أن الـ Conveyer سيبدأ من الصفر حتى يصل إلى سرعته V بعد مثلا 5 ثواني، فخلال هذه المدة فقط سنحتاج إلى تدخل المحرك بعزم ثالث قدره:

$$T_3 = F_{Inertia} \times \mathrm{r} = \text{moment of Inertia } \times \text{acceleration } \times r$$
$$= J \times a \times r$$

حيث J هي الـ moment of Inertia.

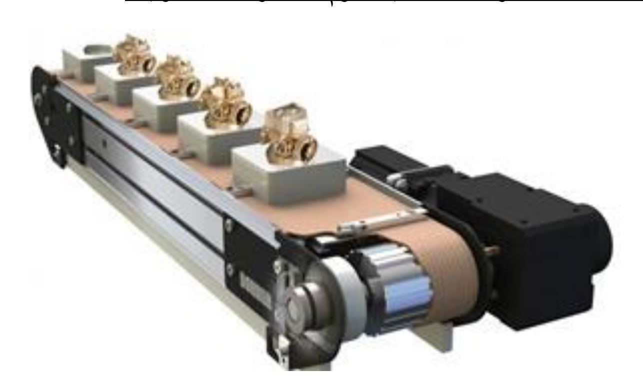
المعادلة السابقة تستخدم لحساب قيمة الـ Torque المطلوب للتغلب على القصور الذاتي لكتلة تدور ، أما إذا كان المطلوب هو التغلب على القصور الذاتي لجسم يتحرك للأمام وليس بطريقة الدوران فإن الـ Inertia Force, $F_{Inertia}$ تحسب من معادلة نيوتن المشهورة $(F_{Inertia} = Mass \times \text{acceleration})$، وبالتالي تصبح قيمة العزم المطلوب للتغلب على القصور الذاتي هى:

$$T_3 = F_{Inertia} \times \mathrm{r} = Mass \ \times \text{acceleration} \ \times r$$

وفى كلا الحالتين (الدوران أو الحركة للأمام) فإنه بمجرد الوصـــول إلى الســـرعة الثابتة سيصبح هذا العزم يساوى صفر لأن الـ Acceleration وقتها تساوى صفر.

مثال

في الشكل التالى اكتب المعادلة اللازمة لحساب عزم المحرك المطلوب.



الحل:

بما أن الســـير يســـير أفقيا، إذن فنحن نحتاج عزم من المحرك يكون قادرا على التغلب على قوتين فقط : الأولى قوة الاحتكاك، والثانية للتغلب على القصور الذاتي.

$$T_{req} = M_{object} \times g \times \mu_{Friction} \times r + M_{object} \ \times \text{acceleration} \ \times r$$

$$T_{req} = \frac{D}{2} \times M_{object} \times (g \times \mu_{Friction} + \text{acceleration})$$

ملحوظة:

1- مرة أخرى ، لاحظ أن حســاب عزم المحرك في المعادلات الســابقة لا يحتاج إلى معرفة الســرعة التي سيدور بها. إنما نحتاج السرعة فقط حين نريد أن نحسب قدرة المحرك.

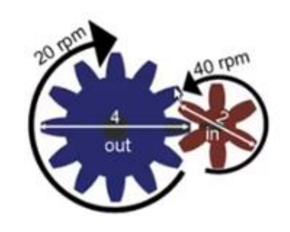
2- يتم حساب قيمة الـــ $\text{moment of Inertia}, J$ بافتراض أن موضع تأثير جميع الكتل الساكنة التي ســتتحرك في الحالة الأولى (الكتلة المنقولة + وزن الســير نفســه) موجود على طرف البكرة التي نصــف قطرها r، وكأن البكرة الســاكنة قد زادت كتلتها بمقدار الكتل التي ســتتحرك، وبالتالي يمكن حساب J للبكرة فقط من المعادلة التالية

$$J = 0.5 \ (M_{object} + M_{belt} + \ M_{Pully}) \ r^2$$

وفى ملحق السيور في نهاية الكتاب مثال منقول من كتالوج شركة متسوبيشي وفيه نموذج عملى لهذه الحسابات.

استخدام التروس

في الغالب تكون سرعة تحريك الأجسام المطلوبة غير كبيرة مقارنة بسرعة المحرك نفسه (تذكر أن العلاقة بين السرعة الدائرية والسرعة الخطية المكافئة تحسب من العلاقة: $\omega = \frac{V\times60}{2\pi}$)، كما قد يكون العزم المطلوب من محرك (مجموع العزوم الثلاثة السابقة $T_1+T_2+T_3$) كبيرا ويحتاج لمحرك ضخم، والبديل لذلك هو استخدام Gear Box يركب على المحرك. ويفرض أن نسبته تساوى مثلا GR:1 (الترس الصغير يركب دائما على المحرك فيغير سرعة المحرك الكبيرة الداخلة على الترس من ω_{in} كبيرة إلى سرعة أصغر ω_{out}، ويكبر العزم الصغير الخاص بالمحرك T_{in} الصغير إلى عزم أكبر T_{out} وهو العزم المؤثر فعليا على الحمل)، أي أن السرعة والعزم على جانبي الـ Gear Box تحسب كالتالى:



$$\frac{Speed_{in}}{Speed_{out}} = \frac{Torque_{out}}{Tourque_{in}} = \frac{Gr}{1}$$

فإذا فرضنا مثلا أن العزم المطلوب لتحريك كتلة معينة موضوعة على السير هو 100 N.m، وأن سرعة الـ Conveyer مطلوب ألا تزيد عن (5 m/s = 48 RPM)، ويفرض أن المحرك المتاح له عزم قدره 10 N.m فقط، وسرعته 480 RPM، فعندها يمكن استخدام Gear Box نسبته 10:1 فيكون مثاليا. وبالطبع يمكن تغيير نسبة التروس .

لاحظ أنه يمكن إعادة لف المحرك بحيث تصبح عدد الأقطاب No. of Poles يساوى ضعف العدد قبل اللف وعندها ستنخفض السرعة للنصف ويزداد العزم للضعف.

تذكر أن:

$$P(Watt) = \frac{T(N.m)\times\omega(RPM)}{9.55}$$

مثال عملي:

لو كان لدينا مثلا جهاز وزنه ثقيل ويراد وضعه فى فاترينة عرض بحيث يدور بسرعة بطيئة أمام الناس ، عن طريق محرك أسفله وبينهما صندوق تروس لخفض السرعة من 1500 RPM إلى100 RPM .

السؤال: كيف نحدد قدرة المحرك اللازم لدوران هذا الحمل ؟

عمليا سيتم تثبيت طارة على عمود صندوق التروس الذى سيديره المحرك ، ويتم تحديد عزم المحرك بضرب قيمة الوزن فى ذراع العزم وهو نصف قطر الطارة ، ثم بضرب قيمة العزم فى سرعة دوران الطارة المطلوبة نحصل على قدرة المحرك.

حساب القدرة اللازمة لتحريك سيارة صغيرة (السيارات الكهربية)

المعادلة العامة لمجموعة القوى المؤثرة على سيارة تتحرك هي :

$$f_t = \underbrace{M_{car}\dot{v}_{car}}_{f_I} + \underbrace{M_{car} \cdot g}_{f_g} \cdot \sin(\alpha) + \text{sign}(v_{car}) \underbrace{\overbrace{M_{car} \cdot g \cdot \cos(\alpha)}^{f_n} \cdot c_{rr}}_{f_{rr}}$$

$$+ \text{sign}(v_{car} + v_{wind}) \underbrace{\frac{1}{2}\rho_{air} C_{drag} A_{front} (v_{car} + v_{wind})^2}_{f_{wind}}$$

$$c_{rr} = 0.01 \left(1 + \frac{3.6}{100} v_{car}\right),$$

where f_t	[N]	Traction force of the vehicle
f_I	[N]	Inertial force of the vehicle
f_{rr}	[N]	Rolling resistance force of the wheels
f_g	[N]	Gravitational force of the vehicle
f_n	[N]	Normal force of the vehicle
f_{wind}	[N]	Force due to wind resistance
α	[rad]	Angle of the driving surface
M_{car}	[kg]	Mass of the vehicle
v_{car}	[m/s]	Velocity of the vehicle
$\dot{v}_{car}$	[m/s^2]	Acceleration of the vehicle
$g = 9.81$	[m/s^2]	Free fall acceleration
$\rho_{air} = 1.2041$	[kg/m^3]	Air density of dry air at 20 °C
c_{rr}	[−]	Tire rolling resistance coefficient
C_{drag}	[−]	Aerodynamic drag coefficient
A_{front}	[m^2]	Front area
v_{wind}	[m/s]	Headwind speed

والجزء الأخير يمثل قوة جديدة رابعة تضاف لثلاث قوى التي تحدثنا عنها سابقا، وهذه القوة الجديدة خاصة بالـ Air Dragging Force، ولكن بما أننا فرضنا أن عربة الموقع صغيرة وأنها تتحرك بسرعة غير عالية فيمكن إهمال هذا الجزء الأخير الخاص بقوى الهواء المعاكسة (في هذه الحالة فقط وليس على الإطلاق). وبالتالي تصبح لدينا فقط نفس الثلاثة قوى السابقة التى يحتاج المحرك أن يتغلب عليها.

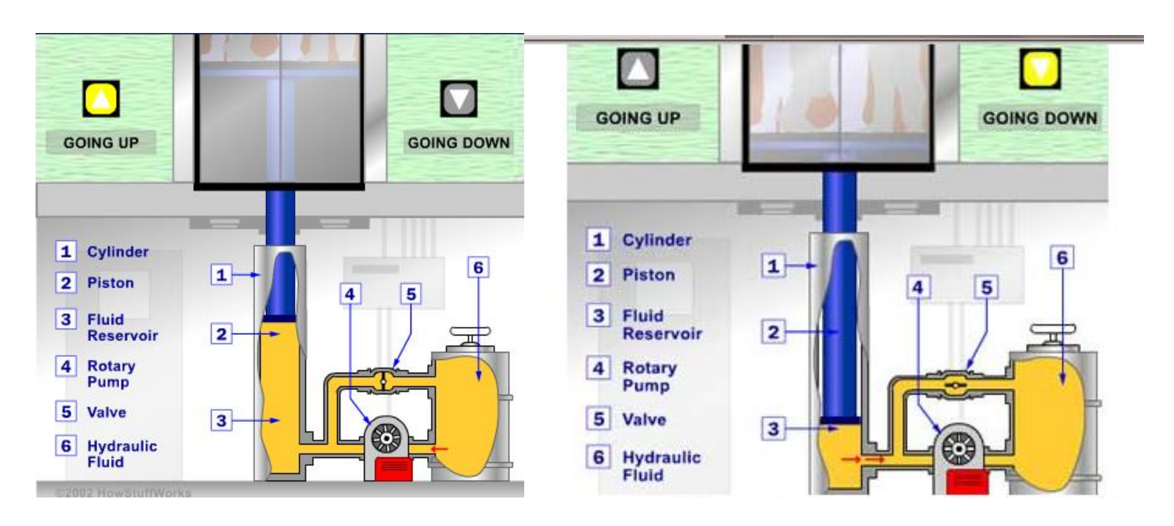
لاحظ أن إشارة الجزء الثالث والرابع تتغير حسب اتجاه الحركة صعودا وهبوطا.

3-9 المصاعد الكهربية

هناك نوعان من المصاعد : المصاعد الهيدروليكية، والمصاعد التقليدية المجرورة بالحبال.

3-9-1 المصاعد الهيدروليكية

يعمل هذا المصعد بمكبس مثبت بأسفل الكابينة يرفعها أو يخفضها هيدروليكياً، وبذلك لا يكون هناك احتياج لأسلاك شد كما هو الحال فى مصاعد الحبال العادية. وتكون وسائل الأمان والتحكم بسيطة وغير معقدة، وهذا النوع من المصاعد مناسب جداً واقتصادي فى حالة تحريك الكابينة بسرعات منخفضة (حتى 1م/ث) لمسافات غير مرتفعة (حتى 25 متراً) وخاصة إذا كانت حفرة الأسطوانات الهيدروليكية أسفل الكابينة لا تمثل مشكلة معمارية. و يبين شكل 3-8 التجهيزات المطلوبة للمصعد الهيدروليكي والعلاقات بينهم أثناء الهبوط على سبيل المثال.



شكل 3-8

والمصعد يتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية:

1. خزان (لتخزين السوائل)
2. مضخة تشغيل بمحرك كهربائي.
3. صمام بين الأسطوانة والخزان.

أثناء الصعود يكون الصمام مغلقاً وتقوم المضخة بإجبار السائل على التدفق من الخزان إلى الأنبوب الذي يؤدي إلى الأسطوانة فيتجمع السائل في الأسطوانة ويقوم بدفع المكبس إلى الأعلى وبالتالي يدفع عربة المصعد.

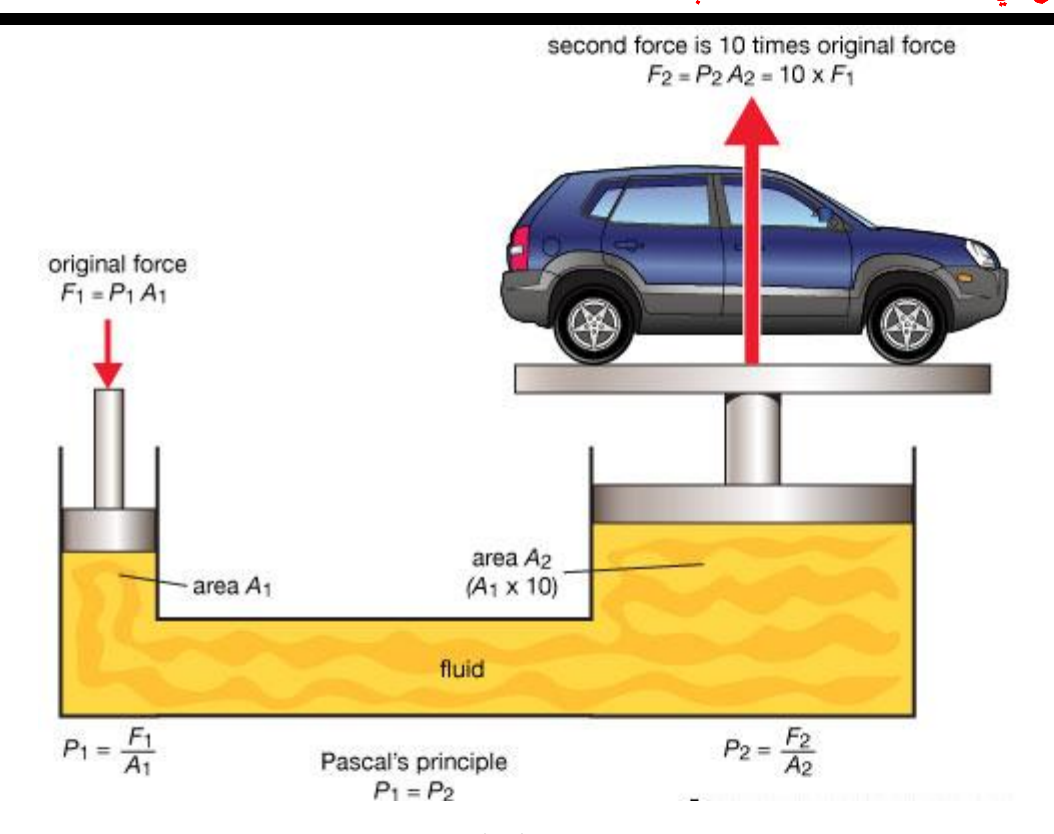
وعندما تقترب العربة من الأرضية المطلوبة يقوم نظام التحكم بإرسال إشارة إلى المحرك الكهربي لإيقاف المضخة بشكل تدريجي، وبعد توقف المضخة لن يستطيع السائل الخروج (أي لا يستطيع الرجوع إلى الوراء خلال المضخة لأن الصمام ما يزال مغلقاً) وتبقى عربة المصعد في مكانها.

أما أثناء الهبوط فيقوم نظام التحكم بإرسال إشارة إلى الصمام الذي يعمل بشكل كهربائي فيفتح وعندها سيتدفق السائل ويسلك الطريق ذا المقاومة الأقل ويعود إلى الخزان، وتقوم وزن العربة والحمولة التي فيها بالضغط على المكبس وبالتالي دفع السائل إلى الخزان وتهبط العربة تدريجياً لتتوقف عند الطابق السفلي ويقوم بعدها نظام التحكم بإغلاق الصمام مرة ثانية.

إن الفائدة الرئيسية للأنظمة الهيدروليكية هي قدرتها على مضاعفة نسبة ضغط قوة المضخة لتوليد قوة أقوى لرفع عربة المصعد. وتذكر هنا مبادئ الهيدروليكا (قانون باسكال):

$$\frac{F1}{F2} = \frac{A1}{A2}$$

وهذا يعنى لو لديك قوة أولى صغيرة على مساحة صغيرة فإنك وحسب قوانين الموائع تستطيع نقل ومضاعفة هذه القوة بتغيير المساحة التى تؤثر عليها القوة الثانية كما في شكل 3-9. وهى نفس النظرية ونفس القوانين التى تفسر لك كيف يمكن بضغطة صغيرة على دواسة الفرامل فى السيارة أن توقف السيارة الضخمة.



شكل 3–9

والمشكلة فى هذه الأنظمة التي تستخدم نظام الحفرة Hole أنه لكي تستطيع عربة المصعد الوصول إلى طابق أعلى فأنت تحتاج لجعل المكبس أطول، وهذا يعنى أن تكون الأسطوانة أطول بقليل من المكبس وتكمن المشكلة بأن كامل تركيب الأسطوانة يجب أن يكون موضوعاً تحت مكان وقوف المصعد السفلي وهذا يعني بأنه يجب الحفر أعمق كلما استهدفت الوصول إلى الأعلى (بالطبع لن يكون الحفر بطول الارتفاع لأن المكبس مكون من أسطوانات متداخلة في بعضها).

وهناك أنظمة تسمى Holeless بمعنى أن المكبس لا يوضع في حفرة أسفل المصعد بل يوضع بجوار المصعد وبنفس ارتفاعه كما في شكل 3–10. كما يمكن أن نستخدم أكثر من مكبس كما في الشكل حيث يوجد أربعة مكابس هيدروليكية Hydraulic Pistons في الأجناب.





شكل 3-10

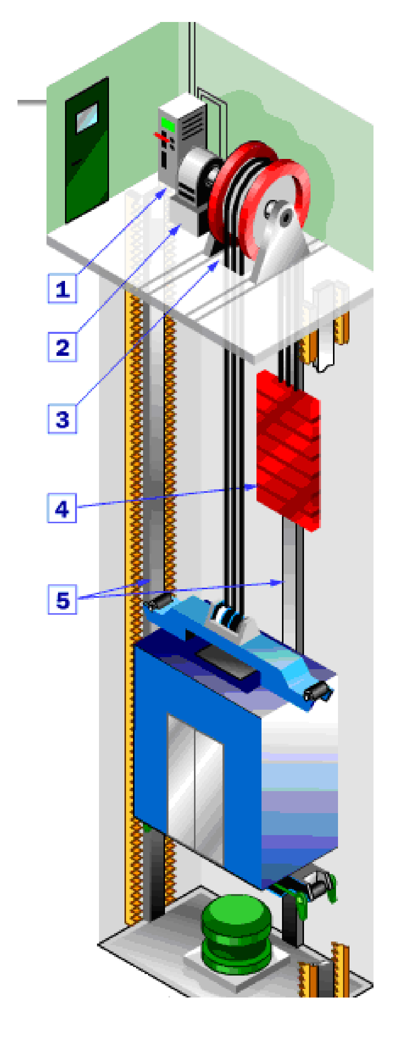
ومن العيوب الرئيسية للمصعد الهيدروليكى أن تكلفة التشغيل مرتفعة، فبسبب غياب ثقل الموازنة Counter Weight – كما سنرى فى النوع الآخر – فإن المصعد يحتاج إلى محرك بقدرة كبيرة لتشغيل مضخة الزيت.

3-8-2 المصاعد التقليدية

في حالة المصـــــاعد التقليدية ترتفع وتنخفض كابينة المصعد – Elevator Car – كما فى شكل 3-11 بواسطة حبال السحب الفولاذية (3) الملفوفة حول بكرة تتصل بمحرك كهربائي (2) تتحكم فيه دائرة تحكم (1) تحتوي على معالج Processor لبيانات مختلفة تتعلق بالحمل في عربة المصعد، و الطابق المتواجدة فيه، و خط سيرها المطلوب، إلخ.

وعادة يصـــنع حبل المصـــعد من مواد فولاذية ملفوفة حول بعضـــها وبهذا التركيب القوي فإن حبل واحد يســتطيع دعم وزن عربة المصــعد والثقل الموازي، ولكن المصـــاعد تبنى بحبال متعددة (بين الأربعة إلى الثمانية اعتمادا على سرعة الكابينة وحمولتها، ويتوزع وزن الكابينة بحمولتها بين هذه الحبال بالتساوى.





1 &2 &3 : المحرك والبكرة وصندوق التحكم   4- الثقل العكسى   5- قضبان التثبيت

شكل 3-11

ويسمى النظام السابق بنظام التعليق suspension system 1 : 1، وفيه توضع البكرة والمحرك ونظام التحكم جميعهم في غرفة فوق بئر المصعد (فوق السطح)، مع ملاحظة أن هناك عدة أنظمة أخرى يتم فيها تركيب بكرة وماكينة الجر فى البدروم أسفل بئر المصعد. ويتوقف اختيار نظام من آخر حسب حمولة المصعد وسرعته وعدد الأدوار التى يخدمها، ويرجع فى تفاصيل ذلك للشركات المصنعة.

وتربط الحبال التي ترفع العربة وتخفضـــها من طرفها الآخر بثقل (4) معلق في الجانب الآخر من البكرة، ويزن هذا الثقل العكســي Counter Weight نفس وزن الكابينة مضـــافا إليه 50% من أقصـــى حمولة يســـمح بها فى المصــــعد، ووظيفته أنه يعمل على تخفيف الحمل الواقع على الموتور، ففي حالة كون المقصورة محملة مثلا بنسبة 50% من حملها الكلي تكون الأحمال على طرفي الحبال في حالة توازن تام.

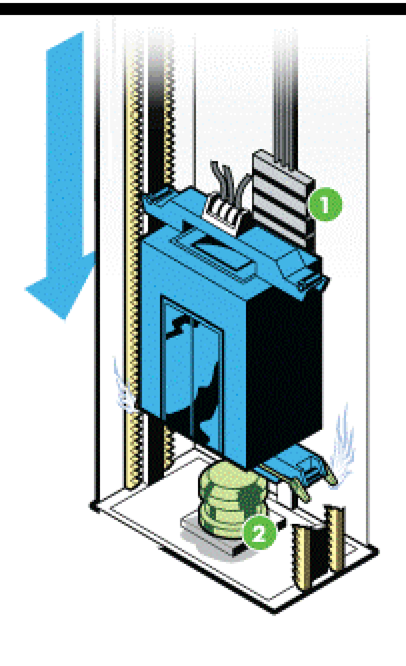
ولو أنك تخيلت المصــعد بدون هذا الثقل وكانت الكابينة فى الدور الأرضــي مثلاً، وأردنا أن نرفعها لأعلى فيجب أن يكون عزم المحرك كافياً لرفع الحمل كله، بينما لو كان الثقل العكسـى موجوداً فسـيخفف ذلك من العبء الملقى على المحرك لأن الثقل متجه لأسفل، وهذا يعنى أنه سيساهم فى رفع الكابينة لأعلى.

فمثلاً إذا كان وزن الكابينة بمشتملاتها 600 كجم، وكانت الحمولة مثلاً 1000 كجم، فيكون ثقل الموازنة فى نظام التعليق 1 : 1 مساوياً لوزن الكابينة مضافاً إليه نصف حمولتها (600+500= 1100 كجم)، وفى هذه الحالة يكون المحرك مصمماً على تحميل 50٪ فقط من الحمولة الكاملة فقط صعوداً أو هبوطاً (يلزم أن يضاف إلى ذلك 10٪ زيادة حمولة).

إذن فالغاية من هذا التوازن هو حفظ الطاقة حيث لن تحتاج حركة الكابينة فى الجزء الأكبر من مسافة المشوار إلا إلى التغلب فقط على قوة الاحتكاك، لأن الوزن على الجانب الآخر سيقوم بأغلب العمل. ويمكن استخدام محرك DC أو AC والأخير (AC) هو الأكثر استخدماً.

وتتم المحافظة على الكابينة والثقل الموازن من الاهتزاز ذهاباً وإياباً بواسـطة قضـبان تشـبه قضـبان السـكك الحديدية (5) تسمى سكة التثبيت Guide Rails وذلك لضمان سير الكابينة عليها باستقامة. ويتم تركيب سـكة التثبيت Guide Rails داخل بئر المصــعد، وهي عبارة عن زوايا من الحديد تثبت في حوائط البئر الخرسانية، ويتم تحريك عربة المصعد على هذه القضبان بواسطة عجلات من الحديد الصلب بحيث يسهل الحركة ويحافظ على حركة المقصورة داخل هذه السكك.

وكل المصـاعد تقريباً مزودة بماص الصدمات Shock Absorber تكون مثبتة بأرضـية بئر المصـعد كما في شكل 3-12. (ماصة صدمات تكون أسفل الكابينة وأخرى أسفل الثقل).



1 The cables that lift the car are also connected to a **counterweight**, which hangs down on the other side of the sheave.

2 The built-in **shock absorber** at the bottom of the shaft - typically a piston in an oil-filled cylinder - helps cushion the imact in the event of snapping cables.

©2004 HowStuffWorks

شكل 3-12

ويتم أيضا تركيب Sensor الوقوف و Sensor التهدئة أعلى الكابينة. أما الأول فهو يتأثر بمغناطيس موضوع على القضبان المعدنية ويكون مثبتاً على مسافة معينة قبل نهاية الدور وذلك لوقوف الكابينة عند الدور. أما Sensor التهدئة فهو مثبت أيضا قبل الدور بمسافة أكبر وذلك للتهدئة قبل وقوف الكابينة فى الدور المعين.

ويتم تغذية دوائر الإنارة والتهوية داخل المصعد وكذلك تغذية دوائر التحكم فى فتح وغلق الأبواب أوتوماتيكياً بواسطة كابل كهربي متحرك Traveling Cable يرتفع وينخفض مع حركة عربة المصعد ويتصل مباشرة بغرفة التحكم.

ويوجد نظامان للحركة هما:

1. الأول نظام الـ A.C، وفيه تعمل ماكينة المصعد بسرعتين (قصوى وبطيئة) ، حيث يبدأ المصعد بالسرعة القصوى ويتوقف علي السرعة البطيئة.
2. الثانى نظام حركة V.V.V.F، ويعنى جهد متغير وتردد متغير Variable Voltage Variable Frequency، وفيه يتم التحكم في سرعة المصعد بتغيير التيار الكهربي الواصل إلى موتور

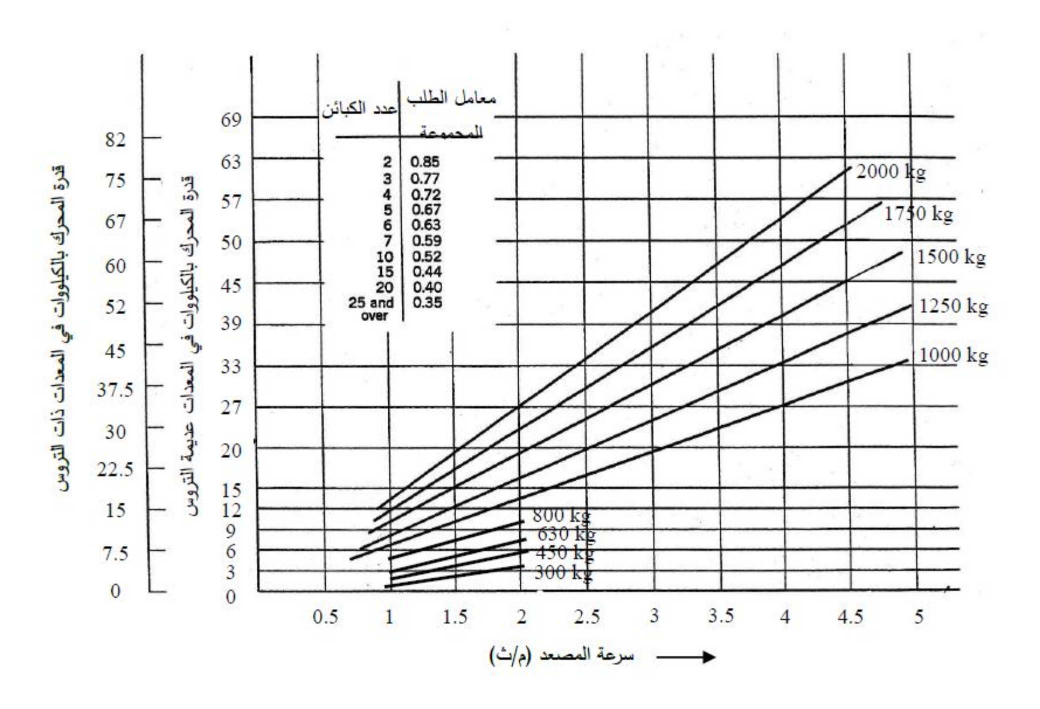
المصعد بواسطة جهاز تحكم مصمم لهذا الغرض مما يؤدي إلى حركة تتزايد أو تتناقص تدريجيا مما يؤدي إلى عدم شعور مستخدم المصعد بحركة المصعد.

3-9 التقدير المبدئي لقدرة المصعد

يتم تحديد القدرة الكهربية للمصاعد فى مرحلة التصميم الأولى بمعرفة المعطيات التالية :

1. نوع الآلة المستخدمة (هل هى آلة ذات تروس Gear Machine، أم آلة بدون تروس Gearless Machine).
2. عدد المصاعد فى المبنى.
3. سرعة المصعد متر/ ثانية.
4. وزن المصعد مقاسا بالكجم.
5. عامل الطلب : وعامل الطلب للمصاعد يختلف حسب عدد المصاعد بالمبنى فهو مثلاً يساوى 0.85 إذا كان لدينا مصعدان، بينما يساوى 72.0 إذا كان لدينا أربعة مصاعد. وهذا منطقى، فكلما زادت عدد المصاعد كلما قل الطلب على المصعد.

وبمعرفة هذه المعطيات البسيطة يمكننا حساب قدرة المحرك اللازمة للمصعد وذلك باستخدام شكل 3-13.



شكل 3-13

مثال 3-8 :

احسب قدرة موتور مصعد كهربى فى مبنى به 4 مصاعد، وسرعة كل منها لا تقل عن 3 متر/ثانية، علما بأن وزن كابينة المصعد والأفراد داخله لن تزيد عن 1500 كجم.

الحل:

من المنحنيات الموجودة في شكل 3-13، لو رسمنا خطاً رأسياً عند السرعة 3 م/ث حتى يتقاطع مع الخط المائل الممثل للوزن 1500 كجم ثم نرسم من نقطة التقاطع خطاً أفقياً إلى اليسار فسيعطى قيمة تقريبية لقدرة المحرك المطلوب بالكيلو وات، وفى هذه الحالة يساوى تقريباً 30 kW (Gearless Machine). وحيث أن عدد المصاعد بالمبنى تساوى 4 فإن معامل الطلب يساوى 72% (طبقا للجدول الموجود فى شكل 3-13)، أى نحتاج فقط إلى موتور بقدرة تقريبية (0.72 x 30) = 22 kW.

لاحظ من شكل 3-13 أن القدرة المطلوبة للآلة ذات التروس Gear Machine تساوى تقريباً 37.5 kW وهى تزيد عن تلك المطلوبة للآلة بدون تروس، لكنها بالطبع أرخص سعراً.

ويتم تحديد سرعة المصعد المطلوبة فى المبنى بمعرفة عدد الطوابق التى يخدمها المصعد المذكور حيث أن هناك علاقة وثيقة ما بين ارتفاع المبنى وسرعة المصعد المقترحة كما هو واضح من الجدول 3-12 .

ملاحظات هامة:

1. يمكن استخدام ماكينات جر بدون تروس تعمل بالتيار المستمر لتغيير سرعات الجر فى المباني ذات الارتفاعات أكبر من 50 متراً وللحمولة الكبيرة حتى 5000 كجم وبسرعة لا تقل عن 2 م/ث، وتكون قدرة المحرك من 15 kW إلى 260 kW (الكود المصرى).
2. تستخدم المحركات 3-Phase Induction Motors ذات السرعتين 375/ 1500 لفة/الدقيقة مع نظام Microprocessor Control مع ثبات التردد.
3. تستخدم الـ 3-Phase Induction Motors ذات سرعة واحدة 1500 لفة/الدقيقة مع نظام مغير التردد والجهد ويستخدم نظام التروس لتحديد سرعة المصعد.

3-9-1 تقدير مبسط لقدرة محرك المصعد

في هذا الأسلوب يتم استنتاج قدرة المحرك بمعلومية الشغل الذى يبذله المحرك لتحريك قوة معينة لمسافة معينة في زمن معين .

Work = Force x Distance

Power = Work/Time = Force x Distance/time = Force x Speed

في هذه الحالة تكون لدينا قوة Force رأسيا هي وزن الثقل المطلوب رفعه (Mass x Gravity)، ثم بمعلومية المسافة Distance المراد رفعها، والمدة الزمنية (Time) يمكن حساب السرعة الخطية ثم القدرة

بالوات. لاحظ أن السرعة المستخدمة هنا هي السرعة الخطية لحركة الحمل وليس سرعة دوران المحرك.
وتكتب المعادلة على الصورة التالية[1] :

$$M = \frac{P \times 75 \times 9.81 \times s \times (1\text{-}CF)}{\eta}$$

Where:

P　is number of passengers in the car.

75　Average passenger weight (75 Kg/passengers).

9.81　is the acceleration due to gravity

S　is the rated speed

CF　is the counterweight factor (a factor less than 1).

η　is the total efficiency of the insulation (taken around 85%).

لاحظ أن هذه القدرة تتغلب فقط على النوع الأول من أنواع الـــ Torques الثلاثة التي ذكرناها في حالة السيور، ولذا تسمى بالـــ Basic Method، ولم يرد ذكر هنا للنوعين الآخرين. ومعظم شركات المصاعد تبدأ التصــميم بهذه المعادلة لتختار قدرة مبدئية للمحرك، ثم من كتالوج الشــركة تختار المحرك الأقرب لهذه القيمة ومنه تعرف قيمة الـ Torque, Motor inertia, etc، وفى كتالوج الشركات معادلات تقريبية للتأكد من أن هذه القيمة المبدئية للمحرك ســتكون كافية أثناء البدء للتغلب على الـــــــ Inertia والتغلب على الاحتكاك.

[1] Dr. Lotfy Al-Shrarif, Lift and Escalator motor sizing with calculations and Examples. Life Report, Feb. 1999.

EXAMPLE 1

In a lift system which has an MG set supplying its DC hoist, calculate the size of the AC prime mover for a 49 passenger lift, running at 1.6 m/s, if the efficiency of the installation (including the MG set, the DC hoist motor and the shaft efficiency) is 70%, and the counterweight ratio is 40%.

SOLUTION

Applying the formula above gives:

$$M = \frac{P \times 75 \times 9.81 \times s \times (1 - CF)}{\eta} = \frac{49 \times 75 \times 9.81 \times 1.6 \times (1 - 0.4)}{0.7} = 49.44\ kW$$

So, 50 kW (or 55 kW) motor can be selected.■

EXAMPLE 2

An 8 passenger hydraulic lift, runs at a speed of 1 m/s, and has an overall efficiency of 80%. If the mass of the car is equal to the rated load in the car, then calculate the required minimum size of the motor for the pump unit.

SOLUTION

As the mass of the car and associated equipment is equal to the rated load, then CF can be taken as -1. Thus, applying the formula gives a motor size of:

$$M = \frac{P \times 75 \times 9.81 \times s \times (1 - CF)}{\eta} = \frac{8 \times 75 \times 9.81 \times 1.0 \times (1 - (-1))}{0.8} = 14.7\ kW$$

Thus a motor sized at 16 kW could be used.■

EXAMPLE 3

A two speed lift has a rated speed of 1.2 m/s, and a car load of 13 passengers. If the overall system efficiency is 75%, and the counterweight ratio of 50% is used, calculate the size of the motor.

SOLUTION

Applying the above formula, gives:

$$M = \frac{P \times 75 \times 9.81 \times s \times (1 - CF)}{\eta} = \frac{13 \times 75 \times 9.81 \times 1.2 \times (1 - 0.5)}{0.75} = 7.65\ kW$$

Thus, an 8.4 kW motor can be selected.■

والأسلوب الآخر في التصميم هو استخدام الجدول 3-11، والمطلوب منك فقط أن تحدد سرعة المصعد المطلوبة (هناك اختياران لوحدات القياس)، ثم من تحدد قدرة المحرك حسب الوزن المطلوب. على سبيل المثال لو اخترت السرعة 1.5 meters/sec وكان الوزن 395 كجم فيكون المحرك المناسب بقدرة 5.6 kW بينما لو كانت الحمولة 1150 كجم فسيكون المحرك بقدرة 7.5 kW، وهكذا.

لاحظ أن وزن الكابينة لا نحتاجه في الحسابات لأن الـ Counter Weight يعادل (وزنها + نصف الحمولة)، لذا فنحن لا نحتاج سوى لمحرك يرفع النصف الآخر من الأحمال كما في المعادلة السابقة.

جدول 3-11

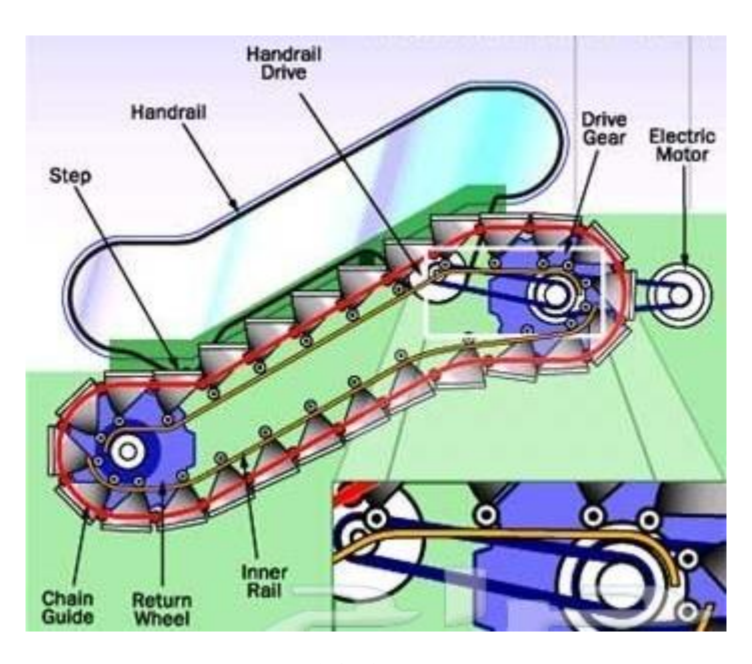
Car Speed Feet / Min.	100	150	200	250	300	350	400	500	700
Car Speed Meters / Sec.	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.5	3.5
Assumed Mechanical Efficiency	55%	58%	60%	62%	63%	64%	64%	67%	70%

Motor HP	**Car Capacity in Pounds**								
Motor kW	**Car Capacity in Kilograms**								
7.5	2300	1600	1250	1030	870	750	660	550	410
5.6	1045	727	568	468	395	341	300	250	186
10	3000	2150	1660	1370	1150	1000	880	740	550
7.5	1364	977	755	623	1150	455	400	336	250
15	4500	3200	2500	2060	1730	1500	1310	1100	410
11.2	2045	1455	1136	936	786	682	595	500	373
20	6050	4300	3300	2750	2300	2000	1750	1470	1090
14.9	2750	1955	1500	1250	1045	909	795	668	495
25	7500	5400	4150	3400	2880	2500	2190	1840	1370
18.6	3409	2455	1886	1545	1309	1136	995	836	623
30	9100	6400	4950	4000	3470	3000	2620	2210	1640
22.4	4136	2909	2250	1818	1577	1364	1191	1005	745
40	12100	8600	6650	5450	4620	4000	3500	2950	2180
29.8	5500	3909	3023	2477	2100	1818	1591	1341	991
50	15125	10700	8300	6840	5760	5000	4370	3670	2730
37.3	6875	4864	3773	2945	2618	2273	1986	1668	1241
60	18150	12870	9900	8200	6940	6000	5250	4430	3280
44.8	8250	5850	4500	3727	3155	2727	2386	2014	1491
75	22685	16090	12375	10300	8650	7500	6560	5520	4100
56	10311	7314	5625	4682	3932	3409	2982	2509	1864

3-9-2 تقدير قدرة محركات الـ Escalators

أصبحت السلالم الكهربية من الأحمال الشائعة لاسيما فى المطارات ومحطات الأنفاق، وهى نسخة معدلة من المصاعد. وتتمثل آلية السلم المتحرك في دوران زوج من السلاسل Chain حول زوجين من التروس Gear الأول في الأعلى والآخر في الأسفل، وتدور التروس الموجودة في القمة بواسطة محرك كهربائي Electric Motor، مما يساهم بتدوير حلقات السلسلة ثم التركيب المعدني steps الذي يمتد بين الطابقين.

وبالتالي تعمل السلسلة الدوارة على تحريك سلسلة الدرجات steps ولكن تبقى هذه الدرجات مستوية طوال المشوار ثم تطوي على بعضها البعض عند الوصول إلى الأعلى أو الأسفل لتشكل سطحًا مستويًا يعود من الجانب الداخلي إلى الطرف الآخر من السلم. فعنصر الحركة فى هذه السلالم إذن هو المحرك مع وجود منظومة ميكانيكية تسمح بدوران هذه الدرجات الحديدية كما فى شكل 3-14.

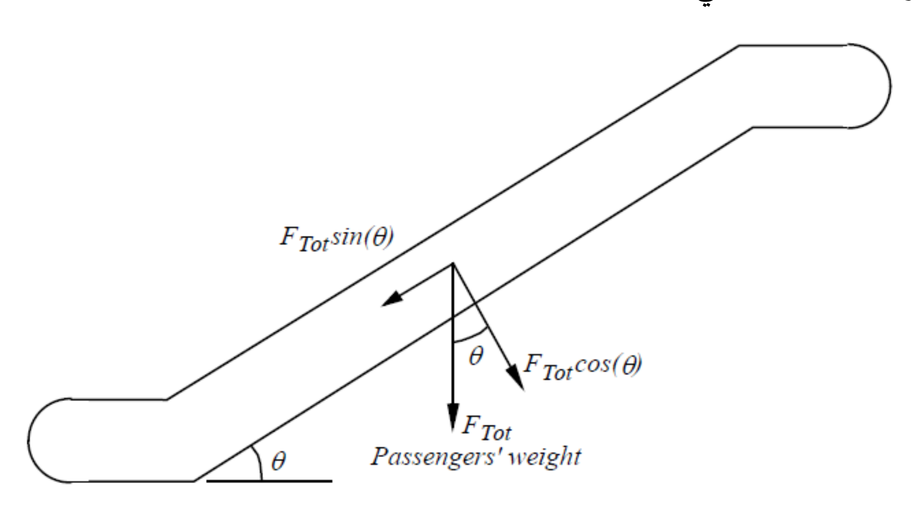


شكل 3-14

ولا تكاد تختلف معادلة حساب قدرة المحرك الخاص بهذه السلالم عن المعادلة الخاصة بالمصاعد سوى في أربع ملاحظات:

- الأولى : أن الحمل المرفوع يصعد بزاوية وليس رأسيا وهذا معناه أن المحرك يبذل جهداً أقل بمقدار Sin θ.
- الثانية : أن عدد الأفراد الذين يمكنهم ركوب هذا السلم يحسب بدلالة عدد السلالم مضروباً فى 2 على اعتبار أن أكبر عدد من الأفراد يقف على درجة واحدة من درجات السلم هو شخصان.
- الثالثة : أن هناك حمل كهربى آخر هو Handrail وهو أيضا حمل ميكانيكى يجب أن يكون المحرك الأصلى مسئولاً عن تغذيته. وبالتالى يمكن أن نفهم المعادلة التالية التى تعطى قدرة المحرك بالـ kW.

- لا يوجد وزن معاكس ولذا لم يظهر (1−CF) في المعادلة. وهذا يعنى أن المحرك سيكون أكبر حجما من المحركات المستخدمة في المصاعد العادية المكافئة.



$$P = \frac{m \times g \times n \times (\frac{RE}{Rs}) \times \sin\theta \ \times s + P_H}{\eta s \times \eta G \times 1000}$$

where

P	is the output power required from the motor in kW
m	is the average mass per passenger in kg(usually 75 kg)
g	is the acceleration due to gravity (9.81m/s^2)
n	is the number of passengers per step (1, 1.5 or 2)
R_E	is the vertical rise of the escalator in meters
R_S	is the step rise in meters (usually 0.2 m)
⊖	is the angle of inclination of the escalator
S	is the linear speed of the escalator in meters per second (0.5 , 0.65 or 0.75 m/s)
P_H	is the power in watts needed to keep handrails moving
η_s	is the efficiency of the step band
η_G	is the efficiency of the gearbox

وفيما يلى مثال محلول على هذه المعادلة.

مثال 3-9

An escalator has a rise of 20 m, is intended to run at a linear speed of 0.75 m/s, and will carry two passengers per step (i.e., n=2). Calculate the power rating of the necessary motor, assuming that the total efficiency of the gearbox and the stepband is 83%. Assume an angle of inclination of 30° to the horizontal.

SOLUTION

Let us assume that the power needed for the handrails is 4kw and that the step rise is 0.2 m. Applying the formula:

$$P = \frac{m \times g \times n \times \left(\frac{R_E}{R_s}\right) \times sin(\theta) \times s + P_H}{\eta_S \times \eta_G \times 1000}$$

$$P = \frac{75 \times 9.81 \times 2 \times \left(\frac{20}{0.2}\right) \times sin(30^\circ) \times 0.75 + 4000}{0.83 \times 1000} = 71.3kW$$

The nearest size in this case will be 75kW.■

10-3 محددات التصميم للمصاعد

بالإضافة للأسلوب المبسط (الحسابات السريعة) السابق ذكره باستخدام المنحنيات والمعدلات والجداول السابقة، فهناك محددات كثيرة تؤثر في التصميم منها :

- عدد الطوابق.
- عدد السكان في كل طابق.
- استطاعة النقل المطلوبة.
- طبيعة استعمال المبني.
- ارتفاع المبنى.
- عدد المستخدمين في ساعات الذروة.

والطريقة التالية تأخذ فى الاعتبار هذه العناصر، كما فى الخطوات التالية:

3-10-1 الخطوة الأولى: اختيار سرعة المصعد:

يؤثر هذا الاختيار على جميع مكونات المصعد حيث تزداد أحجام وأوزان جميع الأجزاء وبالتالى تكلفة المصعد. يفضل دائما زيادة سرعة المصعد بقدر الإمكان لإنقاص زمن الصعود أو الهبوط وتحسين سرعة تلبية الطلبات لنقل أكبر عدد من الركاب فى وقت مناسب لهذا، يتم اختيار السرعة طبقاً لعدد أدوار المبنى، حيث تزداد كلما زاد عدد الأدوار طبقاً للجدول رقم 3-12.

جدول 3-12: سرعة المصعد المناسبة حسب عدد أدوار المبنى

عدد أدوار المبنى	سرعة المصعد (م/ ثانية)
2	0.5
3 - 4	0.5 - 0.75
5 - 6	1- 1.5
6 - 9	1.5- 2
10 - 12	2 - 2.5
13 - 15	2.5 - 3
16 - 50	3 - 5
أكبر من 50	8

مشاكل الأدوار العالية

للحصول على السرعة العالية مع زيادة عدد الأدوار فإن عدد مرات توصيل وفصل المحرك الكهربى تزداد بدرجة قد لا يتحملها المحرك، لأن التيار الكهربى بالمحرك خلال فترة البدء Starting Current يكون عالياً، ولذا فإن محرك كل ماكينة يصمم على أن يتحمل تكرار تيار البدء لعدد معين يصل عادة إلى 180 مرة فى الساعة، وقد يصل فى أفضل الأنواع إلى 240 مرة / ساعة.

ونظراً لأن أى مصعد يمكن أن يتعرض للتوقف فى أى دور من أدوار المبنى حسب طلبات الركاب، ثم مع إعادة تشغيله يتم توصيل المحرك بالمصدر فيسحب تيار البدء العالي، ومع الرغبة فى زيادة سرعة حركة

المصعد وكثرة عدد الأدوار تزداد الحاجة لإنقاص عدد مرات فصل وتوصيل المحرك للحفاظ عليه من ارتفاع درجة الحرارة.

واحد هذه الحلول – فى حالة وجود مصعدين بالمبنى – هو أن يتم إنقاص عدد الوقفات إلى النصف، وذلك بجعل أحدهم يتوقف فى الأدوار الفردية والآخر فى الأدوار الزوجية. وفى حالة تواجد ثلاثة مصاعد يتم تقسيم الأدوار عليها بحيث يتوقف أى مصعد كل ثلاثة أدوار، وهذا بالطبع سيؤدى إلى تخفيض عدد مرات الوقف والابتداء لكل مصعد ومن ثم خفض حرارة المحرك.

3-10-2 الخطوة الثانية : اختيار حمولة المصعد

في هذه الخطوة يتم اختيار عدد المصاعد وحمولة كل مصعد. وعموما يفضل اختيار مصعدين صغيرين بدلاً من مصعد واحد بحمولة كبيرة لتحقيق زيادة سرعة تلبية الطلبات ونقل أكبر عدد من الركاب خصوصاً فى ساعات الذروة. أما فى باقى أوقات اليوم فيمكن إيقاف أحد المصعدين بدلاً من تشغيل المصعد الكبير بحمولة خفيفة، فمعلوم أن كفاءة المحرك الكهربى تنخفض مع تقليل التحميل مما يزيد من تكاليف التشغيل.

كما يتيح نظام المصعدين سهولة عمل الصيانة بالتبادل بين المصعدين بدلاً من التوقف التام عن نقل الركاب خلال فترة صيانة المصعد الواحد الكبير. ورغم زيادة تكلفة المصعدين عن المصعد الكبير عند الإنشاء فإن التوفير فى تكاليف التشغيل للمصعدين يتجاوز هذا الفارق.

وتحدد حمولة أى مصعد إما بعدد الركاب أو ما يقابلها من وزن بالكيلو جرام. فيما يعرف بالحمولة المقننة التى يتم اختيار وشراء المصعد على أساسها كما هو مبين بالجدول رقم 3-13.

جدول رقم 3-13 : حمولة المصعد المقابلة لعدد الركاب

عدد الركاب	4	6	8	10	12	16	20	24
الحمولة (كجم)	320	480	630	750	900	1200	1500	1800

وتزداد قدرة المحرك الكهربى الرئيسى لماكينة المصعد مع زيادة الحمولة وكذلك تزداد القدرة مع زيادة سرعة المصعد.

3-10-3 حساب استطاعة النقل Transfer Capacity

يتم التعبير عن استطاعة النقل كنسبة مئوية لمعدل التدفق People flow rate من العدد الكلى للسكان الذين يستعملون المصعد خلال فترة تساوى خمس دقائق. وتتراوح تلك النسبة بين % 10و% 25 . وإذا لم توجد معلومات عن معدل التدفق المتوقع فإنه يمكن افتراض نسبة % 12 للمباني التي تكون فيها بداية أوقات دوام السكان مختلفة ونسبة % 17 للمباني التي تكون فيها أوقات دوام السكان موحدة، كما يتم افتراض 10 متر مربع للشخص الواحد من أجل تقدير إجمالي عدد السكان.

مثال 3-10:

مبني مكون من ثمانية طوابق ومساحته الصافية 925 م2 احسب الـ Transfer Capacity

الحل:

عدد السكان (على أساس 10 متر مربع /شخص) فى الأدوار الثمانية=

$$= \frac{8 \times 925}{10} = 740$$

نفرض استطاعة النقل للمساكن فى حدود 12%

فهذا يعنى أنه مطلوب نقل 89 شخص كل 5 دقائق

3-10-4 مثال تطبيقي

في هذا المثال نفترض البيانات التالية:

- معدل التدفق في المباني العامة = 25%
- عدد الأشخاص في المبني 1500 شخص.

وبالتالى يمكن حساب استطاعة النقل (شخص /5 ق) =

$$= \frac{25}{100} \times 1500 = 375$$

وعلي فرض أن ارتفاع المبني 30 م، وأن السرعة 1م/ث فإنه يمكن حساب زمن شوط الرحلة الواحدة للمصعد

= (60 ثانية لارتفاع المبني (صعود + هبوط)، + 30 ثانية للتحميل = 90 ثانية

وبالتالي يكون لدينا 3 رحلات كل 5 دقائق في المصعد الواحد

$$= \frac{5 \times 60}{90} \cong 3$$

فإذا فرضنا وجود مصعدين بالمبنى فسيكون لدينا 6 رحلات، وبذلك يكون حمل المصعد الواحد =

375/6= 62 شخص في كل رحلة!!

وهذا يعنى أن المصاعد الموجودة في المبني غير كافية لأنه لايمكن أن تكون حمولة المصعد الواحد 62 شخص !!.

فلو افترضنا أن لدينا مصعدين آخرين مع تغير السرعة من 1م/ث إلى 2 م/ث وتغيير زمن التحميل ليصبح 15 ثانية بدلا من 30 ثانية، فسيصبح

شوط الرحلة للمصعد = 30ث (صعود + هبوط) + +15ث للتحميل = 45 ثانية

وبالتالي يكون لدينا 7 رحلات كل 5 دقائق في المصعد الواحد

$$= \frac{5 \times 60}{45} \cong 7$$

وهذا يعنى 28 رحلة في المصاعد الأربعة (7 رحلة * 4 مصاعد)

وبذلك يكون حمل المصعد =375/28= 13 شخص في كل رحلة.

11-3 الحسابات التفصيلية لعدد وقدرة المصاعد

يعتمد تقدير عدد مصاعد الركاب وحمولتها وسرعتها المقررة لمبني معين على خصائص ذلك المبني مثل:

1. عدد الطوابق.
2. عدد السكان في كل طابق.
3. الحمولة المطلوب نقلها.
4. طبيعة استعمال المبني.
5. ارتفاع المبنى.
6. سرعة المصعد.
7. عدد المصاعد فى المبنى.
8. معدل جودة الخدمة المطلوبة.

ويفضل الرجوع إلى البرامج الجاهزة Software Programs التى تقدمها الشركة المصنعة لتقدير عدد وقدرة المصاعد. وسنعرض هنا لنموذج لهذه الحسابات. وقبل أن نعرض لهذا النموذج سنعرف أولا بعض الرموز التى سيرد ذكرها فى الحسابات لاحقاً.

الرموز المستخدمة:

P هو إجمالي عدد الذين يستخدمون المصعد خلال فترة الذروة من كل الأدوار.

N أقصى عدد من الأفراد داخل كابينة المصعد.

n عدد الأدوار المسموح بالوقوف فيها خلال ساعات الذروة.

V سرعة المصعد.

P1 هو عدد الأشخاص المحتمل أن يغادروا المصعد فى كل رحلة فى الدور الأول خلال فترة الذروة فقط.

P2 هو عدد الأشخاص المحتمل أن يغادروا المصعد فى كل رحلة فى الدور الثانى خلال فترة الذروة. وهكذا.

S_n متوسط عدد مرات التوقف Stops فى الرحلة الواحدة (وقت الذروة) .

D ارتفاع المبنى.

d المسافة التى يقطعها المصعد خلال فترة التسارع Acceleration والتباطؤ عند كل توقف.

T_{io} زمن دخول / خروج الأفراد للمصعد فى كل توقف (نفرضه = 10 ثانية) .

T_{c-o} زمن فتح /غلق الأبواب (يمكن فرضه 4 ثوانى).

وفيما يلى أهم الخطوات بالترتيب :

1. تحديد متوسط عدد مرات التوقف خلال الرحلة S_n:

ولتوضيح معنى هذا المعامل نفرض مثلاً أن عدد من الأشخاص N قد ركبوا المصعد فى الدور الأرضي **فى وقت الذروة**. وبالطبع هناك احتمال أن يغادر عدد من الركاب P1 المصعد فى الدور الأول، وبالمثل هناك احتمال أن يقف المصعد فى الدور الثانى ليغادره عدد آخر يساوى P2 وهكذا. وسنعتمد هنا على نظرية الاحتمالات لتقدير متوسط عدد مرات التوقف Stops فى الرحلة الواحدة (خلال وقت الذروة) وسنرمز له بالرمز S_n. وطبقا لحسابات هذه الشركة فإن S_n يمكن تقديره من المعادلة التالية :

$$S_n = n - \left[\left(\frac{P - P_1}{P} \right)^N + \left(\frac{P - P_2}{P} \right)^N + \ldots + \left(\frac{P - P_n}{P} \right)^N \right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3-1$$

2. حساب الزمن الكلى الذى يستغرقه المصعد أثناء الحركة ذهاباً وإياباً Total Traveling Time، TTT

بالطبع هذا الزمن لا يمكن أن نحصل عليه بمجرد قسمة ارتفاع المبنى على السرعة، بسبب التوقفات الكثيرة. ولذا يحسب هذا الزمن بمعادلة تقديرية كما يلى :

$$TTT = \frac{2}{V}(dS_n + D + d) \ldots\ldots (3-2)$$

3. **حســـاب زمن فتح وغلق الأبواب فى كل التوقفات :** بفرض أن زمن فتح / غلق باب المصـــعد فى كل توقف = أربع ثواني، ومن ثم يكون الزمن الكلى لفتح وغلق الأبواب =

$$T_{c-o} = S_n \times 4 \qquad (3-3)$$

4. **حساب زمن الرحلة الكامل (ذهاباً وإياباً)** Round Trip Time، RTT

يشمل هذا الزمن كلا من :

- زمن الذى يستغرقه المصعد أثناء الحركة Total raveling Time، TTT.
- زمن فتح وغلق الأبواب فى كل التوقفات.
- زمن دخول وخروج الأشخاص.
- بالإضافة إلى Time Constant للأمان (يضاف 10 ثوانى على المجموع السابق).

$$RTT = TTT + T_{c-o} + T_{io} \times S_n + \text{time constant} \qquad (3-4)$$

5. **عدد الرحلات لكل مصعد خلال فترة الذروة** = (زمن فترة الذروة ÷ زمن الرحلة الواحدة)

6. **عدد الأشخاص الذين استخدموا المصعد الواحد خلال فترة الذروة** = عدد الرحلات x سعة الكابينة

7. **عدد المصاعد المطلوبة** = (إجمالي عدد المستخدمين ÷ عدد المستخدمين للمصعد الواحد) .

8. **معامل جودة الخدمة** Grade of Service : تتوقف قيمة هذا المعامل على مجموع قيمتين : (متوسط زمن الانتظار + متوسط زمن الرحلة) .

9. **زمن الانتظار WT :** وهو يساوى فى أسوأ الحالات زمن الرحلة ذهابا وإيابا (Round Trip Time، RTT) مقسوما على عدد المصاعد (N) .

$$WT = RTT \div N \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-5)$$

متوسط زمن الانتظار = (WT ÷ 2) .

متوسط زمن الرحلة = (RTT ÷ 4).

$$\text{Grade of Service} = (WT \div 2) + (RTT \div 4) \;\ldots\ldots\ldots\ldots (3-6)$$

10. تقييم معامل جودة الخدمة :

إذا كانت أقل من 45 ثانية	فالخدمة ممتازة.
إذا كانت بين 45 – 55 ثانية	فالخدمة جيدة.
إذا كانت بين 55 – 65 ثانية	فالخدمة مقبولة.
إذا كانت أكبر من 65 ثانية	فالخدمة سيئة.

11.حساب القدرة الكهربية

نحسب أولا إجمالي الوزن (الكابينة + الأفراد) ، ثم نعتبر الوزن المكافئ هو نصف الوزن السابق على اعتبار أن الثقل المستخدم فى المصاعد التقليدية يكافئ تقريباً نصف الوزن على طول مشوار الرحلة. وأخيرا نضرب الوزن المكافئ فى معامل تقديرى للتحويل مباشرة إلى القدرة الكهربية بالـــ HP، وهذا المعامل يساوى (1.5/75) .

مثال 3 –11

مطلوب حساب عدد المصاعد المناسبة لمستشفى مكون من 5 أدوار، و ارتفاع المبنى 20 متر و كابينة المصعد تتسع لـــ 10 أفراد، ومسافة التسارع والتباطؤ فى كل توقف هى متر ونصف، ووزن الكابينة 1000 كجم، وسرعة المصعد 100 m/min. علما بأن المستشفى له فترة ذروة قدرها ساعة واحدة (ما بين صلاة المغرب وصلاة العشاء)، ومتوسط إجمالي عدد الأفراد الذين يستخدمون المصعد فى كل دور خلال هذه الساعة كما يلى :

الدور	1	2	3	4	5
عدد الأشخاص	100	150	250	250	250

الحل :

يمكن من معلومات المسألة تحديد قيم الرموز التالية :

P = 1000 (P1 = 100، P2 = 150، P3 = 250، etc)

N = 10.

n = 5.

V 100 متر/دقيقة.

D = 20 متر.

d = 1.5 متر

T_{io} = 10 ثانية.

T_{c-o} = 4 ثوانى.

الآن نبدأ خطوات التصميم بالترتيب كما سبق :

1. احسب متوسط عدد التوقفات S_n:

$$S_n = 5 - \left[\left(\frac{1000-100}{1000} \right)^{10} + \left(\frac{1000-150}{1000} \right)^{10} + 3\left(\frac{1000-250}{1000} \right)^{10} \right] = 4.4$$

2. احسب زمن الـ TTT

$$TTT = \frac{2(1.5 \times 4.4 + 20)}{100} = 0.55\,min = 32\,sec$$

3. احسب زمن فتح وغلق الأبواب

$$T_{c-o} = S_n \times 4 = 4.4 \times 4 = 17.6 \text{ sec}$$

4. احسب زمن الرحلة الكامل RTT

$$RTT = 32 + 17.6 + 10 \times (4.4) + 10 = 103 \text{ sec}$$

5. عدد الرحلات لكل مصعد خلال فترة الذروة = 103 / (60 x 60) = 35 رحلة.

6. عدد الأشخاص الذين استخدموا المصعد الواحد خلال فترة الذروة = 35 x 10 = 350 فرد.

7. عدد المصاعد المطلوبة = (1000 ÷ 350) = 3 مصاعد.

8. زمن الانتظار = 103 ÷ 3 = 34.3 ثانية.

9. درجة جودة الخدمة = 34.3/2 + 103 /4 = 43 (الخدمة ممتازة) .

10. الوزن الكلى = 1000 +(10 x 80) = 1800 كجم. (على اعتبار أن وزن الشخص الواحد يساوى 80 كجم، من ثم فإن الوزن المكافئ = 900 كجم) .

قدرة المحرك الكهربى بالحصان = 900 x (1.5/75) = 18 حصان.

12-3 طلمبات رفع المياه فى المباني

عادةً تكون تغذية المياه للمباني المنخفضة (ذات الطابقين أو الثلاثة طوابق) من مصدر مرفق مياه الشرب مباشرة اعتماداً على ضغط الشبكة الذى يتراوح فى الغالب بين 3.5 بار إلى 4.8 بار حسب المنطقة السكنية، وهو ضغط عمومى كاف لدفع الماء إلى الصنابير داخل المنازل ليخرج منها الماء بضغط يتراوح ما بين 0.35 بار و 1.35 بار، بعد التغلب على الاحتكاك فى المواسير والصنابير.

أما فى المباني متوسطة الارتفاع حتى 30 متراً (حوالى 10 طوابق) فيتم ضخ الماء من المصدر الرئيسي مباشرةً (أو من خزان أرضي بالبدروم يملأ من الشبكة العمومية تلقائياً) إلى خزان علوى فوق سطح المبنى بواسطة Pump كهربية تعمل بمحرك فى حدود 7.5 kW، وتعمل تلقائياً من خلال مفتاح منسوب (Level Switch). ويوجد عادة طلمبتان أحدهما تعمل والثانية احتياطية.

فإذا كان الضغط عند الأدوار العلوية (أسفل الخزان مباشرة) منخفضاً، فلابد من استخدام مضخة أخرى صغيرة لرفع الضغط وتركب بالسطح (قدرة حوالى 1.5 Kw) مزودة بخزان تمدد (Expansion tank) تعمل تلقائياً وذلك لضمان ضغط أعلى عند هذه الأدوار.

ويمكن تحديد قدرات المحركات حسب الارتفاع وكمية المياه من قوانين الهيدروليكا، و تحسب قدرة محرك الطلمبة (P) من المعادلة التالية:

$$P = \frac{\omega.Q \times H}{75 \times \eta} \times 0.746\,KW$$

حيث:

:Q معدل التصرف Flow rate (م^3/ث)

:H المسافة الرأسية الصافية Hs(م) Static Head، وهى مكافئة للضغط الكلي المطلوب توفيره من الطلمبة للتغلب على كافة الفواقد Losses الهيدروليكية من احتكاك وفواقد ثانوية في الأكواع والمحابس وخلافه .

:η الكفاءة (حوالى 70–80 ٪)

:ω الكثافة = (للمياه =1000 وللفضلات = 1200 كجم/م3)

و تزيد قدرة المحرك بنسبة من 140 إلى 170 % من القدرة المطلوبة للمضخة.

ويتم رفع مياه الصرف مع المخلفات والفضلات من المباني والتى لا يمكن صرفها تلقائياً بواسطة طلمبات خاصة تقوم برفعها إلى خطوط صرف المجارى العمومية. وتستخدم لهذا الغرض طلمبات غاطسة تعمل كهربائياً بطريقة تلقائية. ولحساب قدرة الطلمبة تستخدم نفس المعادلة السابقة.

ملحوظة: أصل هذه المعادلة هو المعادلة المعروفة :

$$P = \frac{m.g.h}{time} = \frac{V.\rho.g.h}{time.\eta} = \frac{Q.\rho.g.h}{\eta}$$

3-12-1 طلمبات الحريق

يمكن أن تستخدم طلمبة منفردة لضخ المياه عند حدوث حريق، فعلى سبيل المثال قد يكون تصرفها حوالى 40 م^3 / ساعة عند رفع الضغط إلى حوالى 10 بار. وتكون قدرة محركها الكهربي فى حدود 22 kW.

وفى بعض المشروعات يكون هناك طلمبة تدار بمحرك كهربي وأخرى تدار بواسطة محرك ديزل يقوم تلقائياً عند حدوث حريق، أو فى حالة عدم قيام الأولى، أو فى حالة عدم قدرة الأولى على رفع ضغط المياه إلى القيم المطلوبة (تركب حساسات لقياس الضغط Pressure Valves فى عدة أماكن) ، وتتولى

طلمبة جوكى (Jokey pump) إيجاد ضـــــغط دائم على طول خط مواســـير مياه الحريق (Header) الرئيسي.

يتم تحديد قدرة المحرك المطلوب للمضـخة حسـب الضـغط المطلوب منها وحسـب الـــــــ Flow rate المسحوب، طبقاً للمعادلة التالية (لاحظ أنها مختلفة عن المعادلة السابقة لأننا نريد رفع ضغط الماء)

$$W = \frac{QP}{600\eta}$$

حيث:

W القدرة كيلو وات

η: الكفاءة (حوالى 70-80 ٪)

Q التدفق المطلوب (لتر/دقيقة) ، ويحسب من الجدول 3-15 حسب درجة خطورة الحريق المتوقع

P الضغط المطلوب عند هذا التدفق

جدول 3-15

درجة الخطورة	اختلاف الارتفاع من المضخة(المباني المنخفضة) أو فرق المسافة بين أدنى وأعلى مرش في المباني المرتفعة		المقدر الاسمي بالإضافة إلى أي مخرج صفيحة ضغط	
	أكثر من (م)	ليست أكثر من (م)	الضغط عند مخرج المضخة (بار)	التدفق (ل/د)
الخفيفة	0	15	1.5	300
	15	30	1.8	340
	30	45	2.3	375
العادية (المجموعة الأولى)	0	15	1.2	900
	15	30	1.9	1150
	30	45	2.7	1360
العادية (المجموعة الثانية)	0	15	1.4	1750
	15	30	2.0	2050
	30	45	2.6	2350
العادية (المجموعة الثالثة)	0	15	1.4	2250
	15	30	2.0	2700
	30	45	2.5	3100
العادية(المجموعة الثالثة) خاصة	0	15	1.9	2650
	15	30	2.4	3050

مثال 3-12

فى الحرائق العادية فى المجموعة الأولى للمباني التى ارتفاعها من 15-30 متر تحتاج لضغط P=1.9 Par، ومعدل تدفق Q=1150 لتر لكل دقيقة، وبالتالى فقدرة المضخة المناسبة لمثل هذا المبنى (بفرض كفاءة 60%)

$$W = \frac{QP}{600E} = \frac{1150 \times 1.9}{600 \times .6} = 6 \text{ kW}$$

وتحدد درجة خطورة الحريق في الجدول السابق طبقاً لقيمة ما يعرف ب "حمل الحريق".

3-12-2 تعريف حمل الحريق

هو المحتوى القابل للاحتراق في المكان (أثاث، أوراق، بلاستيك، إلخ) ويقاس بكمية الطاقة الحرارية التي تنطلق من المواد القابلة للاشتعال بالمبنى لكل وحدة مساحات kJoul/m2. حيث كل مادة تنتج قدراً معيناً من الطاقة لكل كجم. مثلاً

البلاستيك : 27750 كيلو جول لكل كجم

الاسفنج : 31500 كيلو جول لكل كجم

الخشب 18600 كيلو جول لكل كجم

ونظراً لاختلاف طبيعة المواد القابلة للاشتعال في المباني فقد اتفق على حساب حمل الحريق مقدراً بالطاقة الصادرة من وزن كمية أخشاب مكافئة. بمعنى أن حمل الحريق المكافئ =

(وزن المادة الأولى ×قيمتها الحرارية) + (وزن المادة الثانية ×قيمتها الحرارية) +.... +.....++

مقسوما على (القيمة الحرارية للخشب x المساحة).

مثال 3-13

لو فرض أن لدينا مخزن مساحته 30 متر مربع، وبه 400 كجم بلاستيك، و600 كجم إسفنج، و250 كجم خشب، فإن حمل الحريق في هذا المخزن يساوى

$$= \frac{400 \times 27750 + 600 \times 31500 + 250 \times 18600}{30 \times 18600} = 62\text{kgm (wood)/m2}$$

لاحظ أن ارتفاع قيمة حمل الحريق لا يعنى بأى حال ارتفاع احتمال حدوث حريق، وإنما يعنى فقط إنه لو حدث حريق فستكون الطاقة الناتجة كما لو كان لدينا 62 كجم خشب على كل متر مربع. وهناك جداول تعتمد على هذه القيمة في تقدير درجة الخطورة في العمود الأول من الجدول السابق.

3-12-3 معدات التحكم في الدخان :

ومن المعدات الكهربية المرتبطة بالحريق حمل الـــ Fans الخاصة بالتعامل مع دخان الحريق، فمعلوم أن هناك أسلوبين للتعامل مع الدخان:

1- Positive pressure pressurization

وهو نظام تضغيط pressurization السلالم بمعنى أن ضغط الهواء داخل سلم الطوارئ يكون أعلى من ضغطه داخل المبنى، وذلك من أجل التأكد أن الدخان لن يدخل إلى سلم الطوارئ عند فتح أحد الأبواب المؤدية إليه، فيتم تركيب smoke fan على سلالم الهروب في كل دور تعمل فقط وقت الحريق.

2- Negative pressure evacuation

في الأسلوب الثانى يتم سحب الدخان عن طريق تركيب smoke fan بكل دور في المبنى تعمل وقت الحريق فقط وتقوم بسحب الدخان (شفاط) من الدور الذي به الحريق وطرده.

3-13 منظومات التكييف

نظراً لأن معظم مهندسى الكهرباء يتعاملون مع التكييف كرقم رغم إنه يمثل لهم أكبر حمل فى منظومة الأحمال فقد رأيت أن أختم هذا الفصل ببعض المعلومات الإضافية عن عملية التكييف وأجهزته. فعملية التكييف هي عملية معالجة الجو المحيط و ذلك بالتحكم بمستوى درجة الحرارة و الرطوبة و حركة الهواء داخل المكان المراد تكييفه من أجل الحصول على جو مناسب يشعر الموجود فيه بالراحة و الحرارة المناسبة.

1 – درجة الحرارة

و هى تشير إلى مدى سخونة أو برودة الجسم أو المادة، فمثلا درجة حرارة الجسم للإنسان السليم هي °C 37، و عليه مثلاً عندما تكون درجة الحرارة °C 34 مع نسبة رطوبة 75 % فإننا نشعر بعدم الراحة و الضيق، و ذلك لأن الجسم سيجهد للوصول إلى درجة حرارة تساوي °C 37.

2– الرطوبة

الرطوبة هي العنصر الثاني للراحة بعد الحرارة في تصميم التكييف حيث انخفاض أو ارتفاع الرطوبة عن المعدل الطبيعى له تأثير على الإنسان و المكان. فيشكو الإنسان عند انخفاض الرطوبة من جفاف الجلد و الحنجرة. كما أن كبار السن سيجدون مشكلة بالتنفس، هذا غير التأثيرات المتلفة للديكور و الأثاث المنزلي. وعند درجة حرارة °C 20 مثلا بدون رطوبة يحس الإنسان بالبرودة، و لكن بوجود نسبة رطوبة تكون الحرارة عادية و مريحة. ومعدل الرطوبة يجب أن يكون بين 20% إلى 50% حسب المكان و استغلاله.

3– سرعة و كمية الهواء

سرعة الهواء هو العنصر الثالث للراحة في تصميم التكييف، فزيادة أو نقص سرعة الهواء يعتبر شئ غير مرغوب فيه. وسرعة حركة الهواء المطلوبة يجب أن تكون بين 3–15 م / دقيقة حسب المكان و استغلاله.

3-13-1 الوحدات الحرارية :

1. كالوري: هي كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة جرام واحد من الماء درجة سيليزية واحدة.
2. الوحدة الحرارية البريطانيةBTU : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع باوند واحد من الماء درجة فهرنهايت واحدة (BTU 1 = 252 كالوري).
3. طن التبريد : هي الوحدة التي تدل على القدرة التبريدية، (يمثل طن التبريد معدل التبريد الناتج عن ذوبان طن من الجليد، خلال 24 ساعة، و طن التبريد الواحد يساوى 12000 BTU) .

ويمكن التحقق تفصيليا من ذلك بالخطوات التالية:

- 1 ton (US)=2000 lb
- Latent heat of melting of ice=144 Btu/lb
- 1 day=24 hours
- 1 TR=(2000 lb x 144 Btu/lb) / 24 hrs = 12 ،000 Btu/hr

وسعات التبريد القياسية بالسوق تقدر بالطن– تبريد كما يلى:

BTU/Hr 12000	= 1 طن تبريد
BTU/Hr 18000	= 1.5 طن تبريد
BTU/Hr 24000	= 2 طن تبريد
BTU/Hr 27000	= 2.25 طن تبريد
BTU/Hr 36000	= 3 طن تبريد
BTU/Hr 45000	= 3.75 طن تبريد.

3-13-2 خطوات حساب حمل التكييف

وتقوم فكرة معظم القوانين المستخدمة فى حسابات التكييف على قياس الكميات الحرارية (محسوبة بوحدات BTU/hr أو British Thermal Unit) المتولدة داخل المبنى من الأشخاص و الأجهزة و وحدات الإنارة، وأيضا حساب كمية الحرارة الداخلة إلى المبنى من البيئة الخارجية عن طريق الإشعاع الشمسى من خلال النوافذ والأبواب والحوائط والأسقف. ويجب أن تؤخذ النقاط التالية في الاعتبار :

1. يتم احتساب الكمية المطلوبة بعد دراسة مساحة المكان، و معرفة ما إذا كان المبنى المراد تكييفه معزولاً حرارياً أم لا، فإذا لم يكن معزولاً فإن الكمية المطلوبة لتبريد (أو التدفئة فى البلاد الباردة) تزيد بنسبة 25% –30% عن المبنى المعزول.
2. يجب على المهندس المعماري المصمم أن يراعي توجيه البيت الاتجاه الذي يساعد على تقليل أحمال التكييف، وذلك بتقليل أو معالجة الفتحات في الواجهات المعرضة للشمس.
3. ينظر عند تقدير كمية التبريد إلى الطوابق كل على حدة، حيث السرداب (البدروم) على سبيل المثال يحتاج إلى كمية تبريد تقل بنسبة 45% عن الدور الأخير المعرض للشمس.
4. يجب أيضا أخذ طريقة استعمال المكان بالاعتبار عند تقدير كمية التكييف، فمثلا الديوانية المنفصلة عن المنزل (مكان مخصص للضيوف في الخليج) تحتاج إلى كمية تبريد تزيد بمقدار الضعف عن الغرفة التي تستعمل على أنها غرفة نوم بنفس المساحة. كما أن الغرفة التي تحتوي على مصادر حرارية (على سبيل المثال أفران أو أجهزة كهربية كثيرة) فإنها تحتاج إلى كمية تبريد أكبر تبعاً للحمل الإضافي الموجود بها.

5. يتم غالبا تحديد أماكن و نوع ومقاسـات مخارج الهواء بالتنسـيق مع الديكور و نقاط الإضـاءة الكهربية المطلوبة، كما يتم تحديد سـرعات الهواء داخل مجاري الهواء (Ducts) و عند المخارج. و التي يجب ألا تتخطى السرعات المصرح بها فى البيوت السكنية حتى لا تسبب إزعاج أثناء الاستخدام.

6. أخيراً، يجب أن يتم التنسيق بين المخططات الإنشائية والمخططات المعمارية حتى لا تتعارض مجاري الهواء مع الكمرات و الأعمدة و الجدران للمنزل المراد تكييفه.

وبعد أن ننتهي من تجميع كل الكميات الحرارية بوحدات الـــ BTU/Hr أو بوحدات بالـــ "طن تبريد" (طن التبريد = 12000 BTU/Hr) فإننا نقوم بترجمتها بعد ذلك إلى قدرة كهربية بوحدات الـــ kW بالضرب فى ثابت معين تتراوح قيمته بين 1.17 إلى 2.5 لكل طن تبريد وذلك حسب نظام التكييف المستخدم.

وقيمة هذا الثابت تتوقف على جودة تصنيع جهاز التكييف، فكلما كانت صناعته أجود كلما كان هذا الثابت أصـــغر، ومن ثم يجب عليك عند شـــراء جهاز تكييف أن تتعرف على هذا الثابت أولا، فربما يكون هناك جهاز أغلى بألف جنيه مثلاً من جهاز آخر، لكن ثابت التحويل له أصـــغر بكثير من الجهاز الأرخص، فعندها لا تتردد فى شـراء الأغلى لأن ما سـتوفره عند الشـراء سـتدفع أضـعافه من خلال فواتير الكهرباء المرتفعة شهرياً.

مثال 3-14

قارن بين تكلفة جهازي تكييف قدرة كل منهما 7 طن- تبريد، الأول أغلى من الثانى بمقدار 1000 جنيه، ومعامل التحويل له (Kw/Ton) يساوى 1.1، بينما معامل التحويل للأرخص يساوى 2.5. علما بأن كل جهاز منهما سيعمل لمدة 8 ساعات يومياً. اعتبر سعر الـ KWH يساوى 90 قرش.

الحل :

استهلاك الكهرباء للجهاز الأول (الأغلى سعراً) خلال شهر :

$7 \times 1.1 \times 8 \times 30 = 1848$ kWh

استهلاك الكهرباء للجهاز الثانى (الأرخص) خلال شهر :

$7 \times 2.5 \times 8 \times 30 = 4200$ kWh

الفرق فى تكلفة الاستهلاك خلال شهر =

$(4200 - 1848) \times 0.9 = 2116$ LE

واضـح الآن إنه فى خلال شـهر واحد أثبت الجهاز الأغلى سـعراً إنه الأوفر. فرغم أنك وفرت 1000 جنيه عند الشراء لكنك دفعت فاتورة أول شهر أعلى بمقدار 2000 جنيه تقريبا.

وربما لا يعرف البائع قيمة هذا المعامل، لكنك يمكن أن تدخل إلى موقع الشـــركة المصـــنعة للتعرف من خلال الكتالوج الفنى للجهاز على قيمة هذا المعامل. وقديما قالوا : " الغالى ثمنه فيه " !!.

3-13-3 ماذا يقصد بالـ SEER ؟

من المهم عند شراء جهاز تكييف أن تسأل عن قيمة الـــــ SEER لهذا الجهاز أو ذاك. وهو مؤشر على كفاءة الجهاز عبارة عن رقم تتراوح قيمته بين 13-26، وكلما كانت القيمة أعلى كان ذلك أكثر كفاءة. وبالطبع سيكون أعلى سعراً.

والجدول 3-16 يعطى مقارنة بين التكلفة السنوية لتشـغيل عدة أجهزة لهم SEER مختلفة. والمقارنة مبنية على سعر kWH هو 9 سنت ومدة التشغيل 2000 ساعة.

جدول 3-16

SEER	1 Ton	1.5 Ton	2 Ton	2.5 Ton	3 Ton	3.5 Ton	4 Ton	5 Ton
8	$ 270	$ 405	$ 540	$ 675	$ 810	$ 945	$ 1,080	$ 1,350
9	$ 240	$ 360	$ 480	$ 600	$ 720	$ 840	$ 960	$ 1,200
10	$ 216	$ 324	$ 432	$ 540	$ 648	$ 756	$ 864	$ 1,080
11	$ 196	$ 295	$ 393	$ 491	$ 589	$ 687	$ 785	$ 982
12	$ 180	$ 270	$ 360	$ 450	$ 540	$ 630	$ 720	$ 900
13	$ 166	$ 249	$ 332	$ 415	$ 498	$ 582	$ 665	$ 831
14	$ 154	$ 231	$ 309	$ 386	$ 463	$ 540	$ 617	$ 771
15	$ 144	$ 216	$ 288	$ 360	$ 432	$ 504	$ 576	$ 720
16	$ 135	$ 203	$ 270	$ 338	$ 405	$ 473	$ 540	$ 675
17	$ 127	$ 191	$ 254	$ 318	$ 381	$ 445	$ 508	$ 635
18	$ 120	$ 180	$ 240	$ 300	$ 360	$ 420	$ 480	$ 600
19	$ 114	$ 171	$ 227	$ 284	$ 341	$ 398	$ 455	$ 568
20	$ 108	$ 162	$ 216	$ 270	$ 324	$ 378	$ 432	$ 540
21	$ 103	$ 154	$ 206	$ 257	$ 309	$ 360	$ 411	$ 514
22	$ 98	$ 147	$ 196	$ 245	$ 295	$ 344	$ 393	$ 491
23	$ 94	$ 141	$ 188	$ 235	$ 282	$ 329	$ 376	$ 470
24	$ 90	$ 135	$ 180	$ 225	$ 270	$ 315	$ 360	$ 450
25	$ 86	$ 130	$ 173	$ 216	$ 259	$ 302	$ 346	$ 432
26	$ 83	$ 125	$ 166	$ 208	$ 249	$ 291	$ 332	$ 415

Base on 9 cent a KW and 2000 cooling hours

مثال 3-15

قارن بين التكلفة السنوية لتشغيل جهازى تكييف قدرة كل منهما 3 طن والأول له معامل SEER=10 والثانى له معامل SEER=20.

3 ton 10 SEER system (36،000BTUs x ((.09cents/1000Watts) x 2000hrs))/10SEER= $648 per year cooling cost.

قارن ذلك بالبديل التالى

3 ton 20 SEER system (36،000BTUs x ((.09cents/1000Watts) x 2000hrs))/20SEER= $324 per year cooling cost.

3-13-4 مكونات منظومة التبريد

تحتوى منظومة التبريد على الأجهزة الرئيسية التالية:

1- المكثف Condenser

يركب المكثف خارج المكان المراد تبريده، و هو مبادل حراري يفقد فيه وسيط التبريد (غاز الفريون مثلاً) كمية من الحرارة بمساعدة وسط مبرد (ماء أو هواء) لكي يتحول وسيط التبريد المضغوط إلى سائل (عملية تكثيف غاز التبريد) . ويعرف تجارياً باسم السربنتينة، هو عبارة عن مواسير نحاس وحولها زعانف من الألومنيوم وتسمي Copper Tubes Aluminum Fins ويمر الفريون في هذه المواسير النحاس عندما يكون ذو درجة حرارة عالية ويمر عليها الهواء فيتم انتقال الحرارة بين الهواء والفريون فيتم تسخين الهواء وتوزيعه علي الزعانف Fins وطرد الهواء الساخن إلى الخارج مما يقلل من درجة حرارة الفريون القائم بعملية التبريد ويخرج الفريون في صورة سائل.

وتوجد من المكثفات أنواع عديدة منها الهوائى سواء بمروحة أو بدون، وكذلك المكثف المائى كما فى الـ Chillers، وكما فى السيارات.

2- المبخر Evaporator

هو مبادل حراري يركب داخل المكان المراد تبريده، وتتم فيه عملية تحويل سائل التبريد إلى غاز بواسطة امتصاصه للحرارة من المكان المراد تبريده (عملية تبخير سائل التبريد) . وهو عبارة عن مواسير نحاس وحولها زعانف من الألومنيوم وتسمي Copper Tubes Aluminum Fins أيضا" مثل Condenser ويمر الفريون في هذه المواسير النحاس فيجعل درجة حرارتها منخفضة، ويمر الهواء المراد تبريده الذي تم سحبه من الغرفة علي مواسير الفريون المبردة ويتم توزيعه علي Fins مما يزيد من مساحة سطح انتقال الحرارة بين الهواء ومواسير الفريون. لاحظ أن هناك قطرات من الماء تتكثف حول هذه المواسير داخل الغرفة تماماً كما تتكثف قطرات الماء حول كوب مثلج. وهذه القطرات المتكثفة تتجمع فى وعاء صرف ينتهى بخرطوم لنقل هذا الماء خارج البيت وهذا هو السبب فى سقوط قطرات ماء عليك أثناء مرورك تحت مكيف ما.

وهناك أيضا المبخر المائي CHILLER ويستخدم في أجهزة التكييف المركزي الكبيرة، حيث يتم نقل البرودة بالماء إلى المكان المراد تكييفه عن طريق دائرة بمضخة للماء و هذه الطريقة تكون أكفأ من نقل البرودة بالهواء ولكنها أكثر تكلفة.

3- الضاغط Compressor

وظيفته زيادة ضـغط وسـيط التبريد و هو في الحالة الغازية و دفعه إلى باقي أجزاء دورة التبريد. أما سـبب رفع ضغط غاز التبريد في المكثف فيرجع إلى الرغبة في رفع درجة غليان سائل التبريد و التي تعادل درجة تكثيفه، حيث أنه كلما زاد الضغط كلما زادت درجة الغليان (تذكر : PV=nRT or PV= const × T) ، و كلما قل الضـغط كلما قلت درجة الغليان، ونحن نقوم برفع درجة الغليان لكي تكون أعلى من درجة حرارة الجو، و بالتالي نسـتطيع أن نسـتخدم الهواء الجوي كمبرد تنتقل إليه كمية من حرارة غاز التبريد التي اكتسبها في المبخر، ثم نقوم بتقليل الضـغط في المبخر بواسطة صمام التمدد لكي تقل درجة غليان سائل التبريد إلى درجة حرارة تكون أقل من درجة حرارة المكان المراد تبريده، و بالتالي تنتقل كمية من الحرارة لسائل التبريد من المكان المراد تبريده فيبرد و التي سوف يفقدها سائل التبريد بعد ذلك في المكثف.

4- صمام التمدد Expansion Valve

وظيفته إجراء خفض مفاجئ في ضـغط وسيط التبريد من أجل تسـهيل عملية تحويله من الحالة السـائلة إلى الحالة الغازية في المبخر. أى يمر به الفريون السـائل ويخرج منه في صـورة رذاذ Spray نتيجة عملية الخنق Throttling، ويكون الفريون الخارج له درجة حرارة منخفضـة وضـغط منخفض. وفى شـكل 3-15 أحد أشكال هذه الصمامات.



شكل 3-15

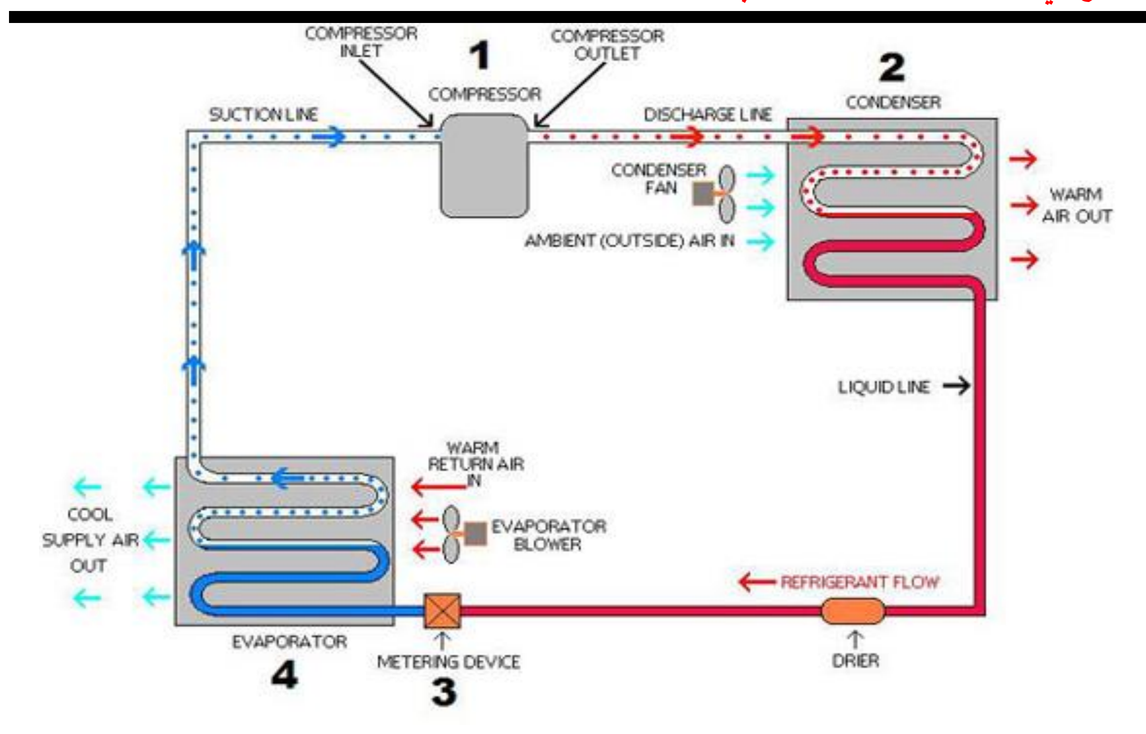
5- وسيط التبريد Coolant

هو الوسيط الذي يقوم بامتصاص كمية معينة من الحرارة من داخل المكان المراد تبريده (أثناء مروره في المبخر) ثم يفقدها خارج المكان المراد تبريده (أثناء مروره في المكثف) . وهناك أنواع من سوائل التبريد مثل فريون 502، 512، 1222. و في الفترة الأخيرة اعتمدت أنواع من السوائل التي لا تؤثر في طبقة الأوزون و منها فريون 123 – 1340.

3-13-5 طريقة عمل المكيف

أساس عملية التبريد هي استغلال الفرق في كميات الحرارة الناتجة عن عمليتي التبخير و التكثيف للسوائل، فكل سائل عندما يتبخر يحتاج إلى اكتساب كمية من الحرارة تساعد على عملية تبخره. و في هذه الحالة نستطيع أن نحصل على تلك الكمية من المكان المراد تبريده، بينما في عملية التكثيف يكون غاز التبريد في حاجة إلى أن يفقد كمية الحرارة التي اكتسبها، و نستطيع أن نفقد كمية الحرارة هذه بواسطة أي وسط مبرد سواء هواء أو الماء أو أية وسيلة أخرى.

و تبدأ دورة التبريد (شكل 3-16) من الضاغط Compressor حيث يقوم بعملية زيادة ضغط الغاز و دفعه داخل الجهاز ثم ينتقل غاز التبريد إلى المكثف الذي عادة يكون خارج المبنى حيث يتكثف الغاز و يتحول إلى سائل بسبب فقده كمية الحرارة التي ينقلها إلى الوسط المبرد سواء كان الهواء الجوي أو الماء أو أي وسط آخر، بعدها ينتقل سائل التبريد إلى صمام التمدد حيث يتعرض إلى تمدد فجائي يؤدي إلى انخفاض في ضغطه، ثم ينتقل السائل بعد ذلك إلى المبخر، و عادة يكون داخل المبنى، حيث يتبخر بسبب اكتسابه كمية من الحرارة من المكان الموجود فيه، و يؤدي ذلك إلى تقليل درجة حرارة المكان المراد تبريده، ثم يرجع الغاز إلى الضاغط مرة أخرى لكي تتكرر الدورة.

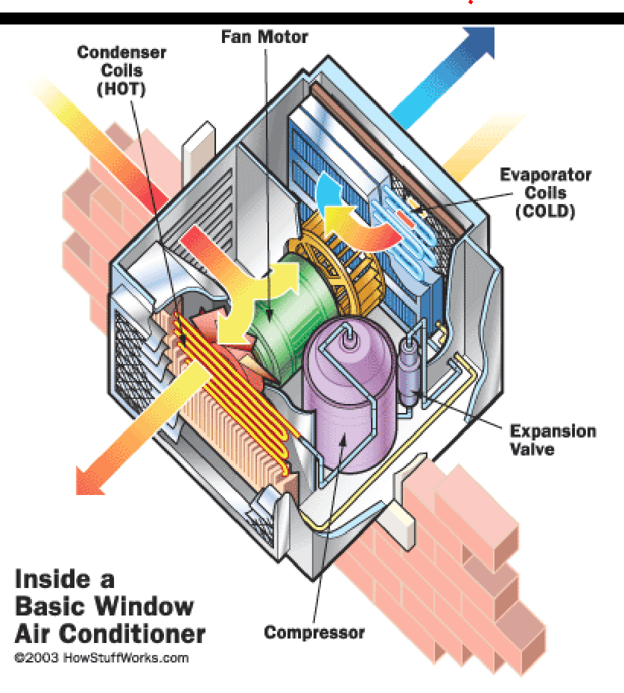


شكل 3-16

3-14 أنواع أجهزة التكييف

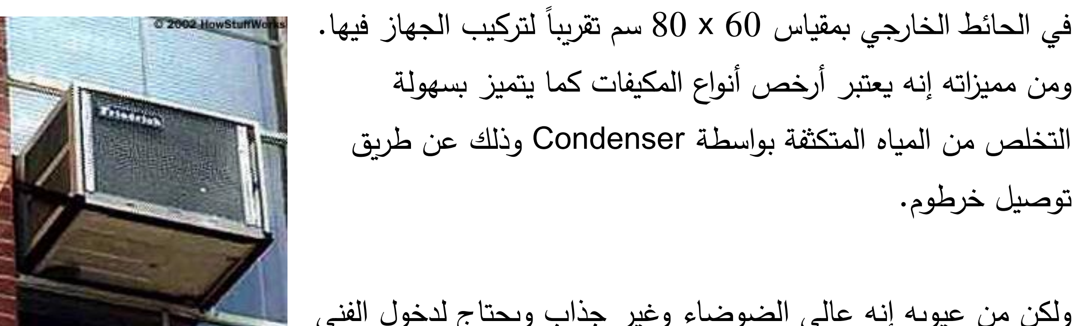
3-14-1 مكيف الشباك Window

فكرة عمل هذا النوع لا تختلف شيئاً عما شرحناه فى الجزء السابق، لكن الأجزاء التى سبق الحديث عنها تكون موجودة جميعاً داخل وحدة واحدة كما فى شكل 3-17.



شكل 3-17

وهذا النوع صغير الحجم، سهل الصيانة، لا يحتاج إلى أي توصيلات خارجية، ولكن يحتاج لعمل فتحة في الحائط الخارجي بمقياس 60 x 80 سم تقريباً لتركيب الجهاز فيها.

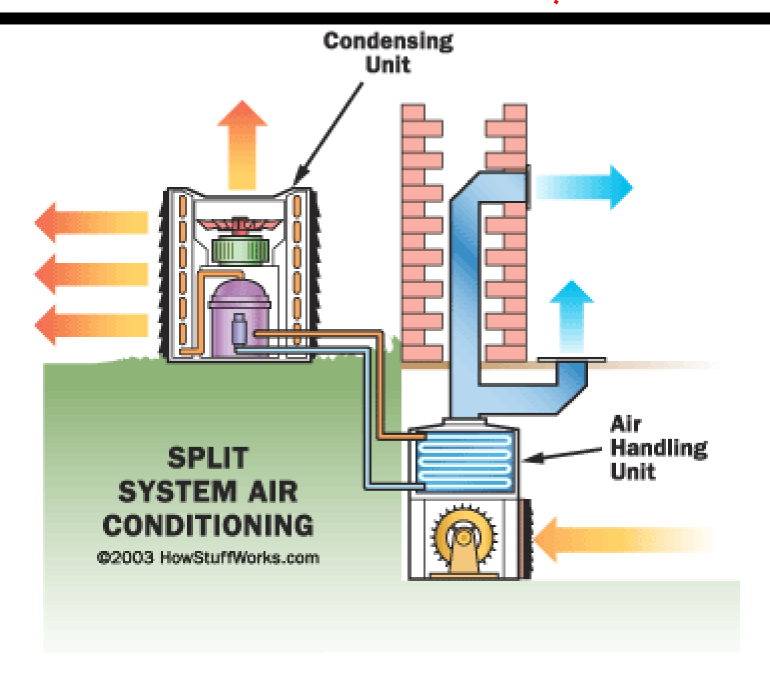


ومن مميزاته إنه يعتبر أرخص أنواع المكيفات كما يتميز بسهولة التخلص من المياه المتكثفة بواسطة Condenser وذلك عن طريق توصيل خرطوم.

ولكن من عيوبه إنه عالي الضوضاء وغير جذاب ويحتاج لدخول الفنى لكل غرفة عند الصيانة، والأهم من ذلك أن كفاءته منخفضة نسبيا" كما أن له حدود تبريدية تصل إلى 24000 BTU فقط أى لا يستخدم مع الأحمال الكبيرة.

3-14-2 التكييف المنفصل Split

هذا النوع يمتاز بسهولة التركيب فهو يتكون من وحدتين منفصلتين ولذلك تسمي الوحدات المنفصلة فإحداهما تركب داخل الحجرة والأخرى تركب بالخارج كما في شكل 3-18 مع نفس دورة التبريد السابقة دون تغيير.



شكل 3-18

ولأن الضاغط Compressor موجود خارج الغرفة فإننا لا نسمع الضجيج الذي ينتجه، كما أنه لا يشوه مظهر الجدار لأنه لم يعد يحتل ثقباً كبيراً في الجدار كما في السابق.



والوحدات الداخلية (تسمى Indoor Unit) تتكون من المبخر Evaporator والمروحة والفلتر الخاص بتنقية الهواء الداخل إلى الحجرة وأيضا" صمام التمدد Expansion Valve وتسمى هذه الوحدة أيضا" بوحدة التبخير (المبخر) Evaporating Unit وتختصر EU.



أما الوحدة الخارجية (وتسمى Outdoor Unit) فتتكون من المكثف Condenser، والـ Compressor والمروحة، وتسمى أيضا" وحدة التكثيف Condensing Unit وتختصر CU.

ويتم التوصيل بين الوحدتين بمواسير الفريون ويمكن أن تبعد المسافة بينهم إلى 25 متر ولذلك تتميز هذه الوحدات

كما قلنا بقلة الضوضاء بسبب بعد الـ Compressor عن الحجرة المكيفة. ويعيب هذا النوع أيضا دخول الفني داخل الغرفة عند الصيانة، وكذلك احتمال نزول الماء داخل الغرفة عند انسداد مجرى صرف الماء.

وتعتمد تكنولوجيا المكيفات حالياً على إمكانيات الـ Microprocessors العالية فى استقبال ومعالجة الـ Data المختلفة، فيمكن لهذه الأجهزة مثلاً اختيار درجة حرارة معينة ليقوم الجهاز بالمحافظة عليها في الغرفة ويطفئ نفسه عند الوصول إليها ويشغل نفسه عند تخطيها. ويمكن أيضا برمجة الجهاز بحيث يبدأ في العمل في ساعة معينة (قبل وصول أصحاب البيت بساعة أو ساعتين مثلاً). و أن يطفئ نفسه في ساعة معينة، وهكذا. وأعلى سعة فى هذا النوع 5 طن، وأقل سعة 1.5 طن.

وبعض أنواع تكييف الـ Split تثبت فى السقف Cassette type mini-split كما فى شكل 3-19، ومنها أيضا أحجام أكبر مثل التى تجدها فى المساجد وتركب قائمة على الأرض Floor-standing mini-split ويصل ارتفاع الوحدة الداخلية إلى مترين، وكل هذه الأنواع تصنف على أنها Split.





شكل 3-19

3-14-3 تكييف الـ Ducted- Split (النوع الأول من التكيفات المركزية)

هذا أول نوع من أنواع التكييف المركزى وهو تكييف مركزى لأن مصدر التبريد جهاز واحد ومنه يتم توزيع الهواء البارد على أكثر من غرفة من خلال Ducts، و هو يشبه تكييف الـ Split لأنه عبارة عن وحدات خارجية و لكن كبيرة نسبياً فمثلاً أن كنت تستخدم تكييف منفصل 1.5 طن لتكييف غرفة فأنت سوف تستخدم في نظام الـ Ducted-Split وحدة واحدة بقدرة 5 طن لتكييف الثلاث غرف دفعة واحدة من خلال Ducts وبواسطة وحدة Air Handling Unit داخل الشقة..

وتركب Ducts هذا النوع في السقف ويوصل بمجاري هواء وبأدوات مختلفة لتوزيع الهواء بأشكال متنوعة وأحجام مختلفة على حسب حجم مكعبات الهواء المراد إخراجها منها. وأعلى سعة لهذا النوع هي 6.6 طن وأقل سعة 1.5 طن. ويتميز هذا النوع بأن الـــــ Ducts فيه لا تشغل حيزاً رأسياً فى الغرفة كما فى النوع التالى (Package) ولكن تثبت أفقياً فقط، ولكن الفنى سيحتاج للدخول إلى الشقة للصيانة.

ونظام الــ Ducted– Split أعلي في التكلفة من التكييف المنفصل Split، وبالطبع يجب أن يكون ارتفاع السقف يسمح بمرور Ducts التي يبلغ ارتفاعها حوالي 40 سم و تتطلب سقف بعمق 60 سم أى إنه لو كان لديك سقف ارتفاعه 3 متر فعند عمل التكييف سيكون الصافي لديك 2.4 متر، و بالتالي لا يصلح هذا النوع إلا إذا كان السقف بارتفاع 3.4 كحد أدني حتي يكون لديك صافي الغرفة 2.8 متر.

3-14-4 أنظمة التكييف المدمجة (Package)

وهذا النوع يتكون من قطعة واحدة وتوزع الهواء عن طريق مجاري الهواء Ducts ويوضع خارج المبنى أو فوق الأسطح في الأغلب لأن حجمه يكون كبيراً وسعته تصل إلى 50 طن وأقل سعة له 4 طن.

والفرق بينه وبين المنظومة السابقة إنه في حالة الـ Ducted–split تكون وحدة الـ AHU موجودة داخل الشقة، أما فى هذا النوع فتكون الـ AHU، مع الضاغط Compressor كلاهما داخل Package واحدة توضع فوق السطح أو خارج الشقة، ويتميز بالهدوء التام مقارنة بالنظام السابق.

ويتم عادة نقل الهواء المكيف منها باستخدام شبكتى مجارى هواء معزولة Isolated Ducts، واحدة لهواء التغذية والأخرى للهواء الراجع كما هو واضح فى شكل 3–20. والبعض يفضل هذا النوع لأن صيانته كلها خارج الشقة فلا يدخل العمال مطلقاً للشقة ولا يتسبب فى أى أضرار للفرش.



شكل 3-20

لاحظ وجود two Ducts فى الصورة، فالكبير للهواء البارد الخارج من الوحدة والأصغر للهواء الراجع.

و يمكن بسهولة فى هذا النظام تعديل طبيعة الهواء بإضافة جزء من الـ Fresh Air لتحسين جودة الهواء. فمن المعلوم أن النظام الســـابق يحدث فيه تدوير لنفس هواء الغرفة دون تعديل، مما يتســـبب أحياناً فى ارتفاع نسبة ثانى أكسيد الكربون بهواء الغرفة، ويترتب عليه شعور الأشخاص فى هذا الحيز بالنعاس. كما أن رائحة الهواء ربما تتغير. وهو بذلك يختلف عن نظام الـ Ducted-Split الذى يعتمد على كمية الهواء الـــــ Fresh التى تدخل عند فتح وغلق الأبواب أو الشبابيك أو شفاطات الحمام والمطبخ، لأن إضافة الـ Fresh Air ضمن منظومته تعتبر عملية غير مفضلة عند الكثيرين لصعوبتها.

3-14-5 أنواع التكييف المركزى

التكييف المركزى ينقسم من حيث أنظمة عمله إلى نوعين :

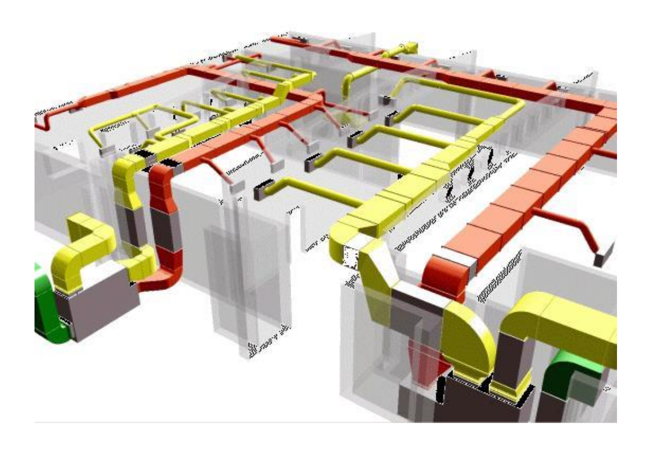
الأول هو نظام التبريد بالتمدد المباشــــر D.X أو Direct expansion، وهو المنتشـــــر الآن في أغلب الأماكن المكيفة، ويشبه تماما فكرة العمل التى تحدثنا عنها سابقا (تكييف Window، والـــ Split، وتكييف Ducted-Split والتى تعتبر جميعاً من النوع الـــــ D.X). وهذا النوع من التكييف المركزي يشتمل على نظامين لـلـ Ducts :

1. الأول هو Supply Ducts و هو يحمل الهواء البارد إلى المكان المراد تبريده (باللون الأصـفر فى شكل 3-21).

2. والثانى هو RETURN AIR DUCT ويحمل الهواء الراجع لإعادة تبريده. (باللون الأحمر فى شـكل 3-21) . ورجوع الهواء خلال مجارى أو فتحات الهواء الراجع يؤدى بالضـرورة إلى تحسـين ضـــغط الغرفة ووجود دوران جيد للهواء داخل الغرفة وأيضـــا لفلترته أى لتنقيته وتنظيفه وإخراج الشـوائب منه ثم إعادة تبريده مرة أخرى ليعود إلى المكان المكيف، وبالتالي فهو مهم جداً من الناحية الاقتصـادية لترشيد الطاقة.

وقد يتم تنفيذ عملية رجوع الهواء بدون Ducts، وعندها سيكون كل الفراغ فوق الــFalse Ceiling "مفتوح على بعضــه" باسـتثناء الحمام والمطبخ، ثم يرجع الهواء مباشـرة للوحدة الداخلية ومنها إلى مواسـير المبخر ليبرد ويعاد دفعه فى دكتات التغذية.

وقد يتم في بعض مجاري الهواء تركيب الســخان الكهربي للهواء (DUCT HEATERS) داخل مجاري الهواء للتدفئة في فصل الشتاء.

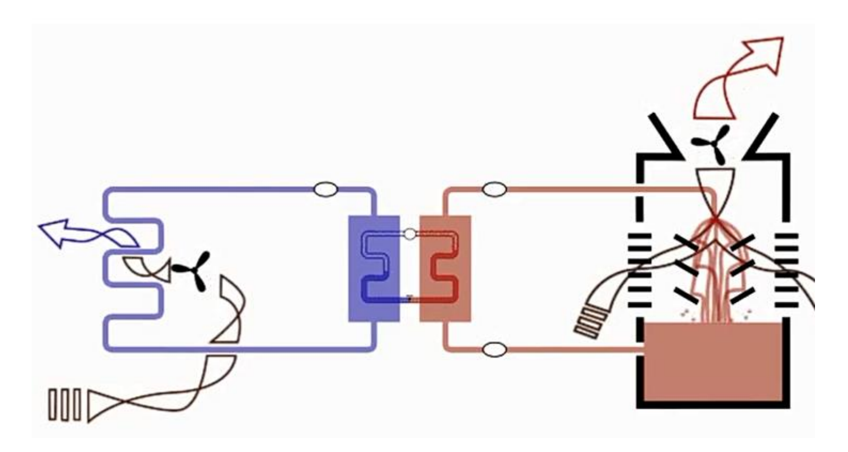


شكل 3-21

3-14-6 التكيف المائى Chilled Water System

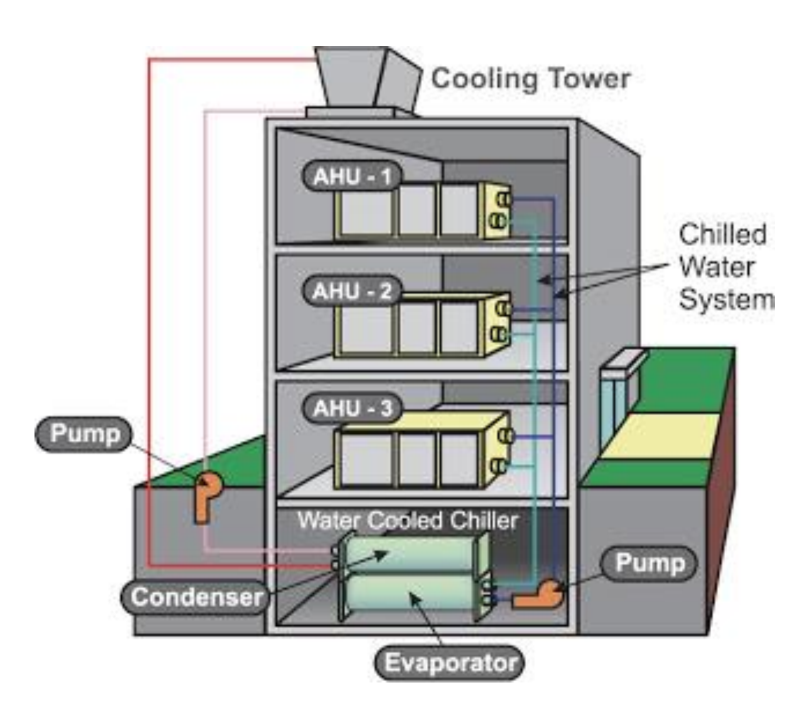
والنوع الثانى من أنواع التكييف المركزي هو الذى يقوم بعملية التبريد بواســطة المياه الباردة (Chilled Water System)، و فيه يتم اسـتخدام نفس أفكار النظام السـابق لكن الطرف الثانى للتبادل الحرارى مع الفريون لا يكون الهواء كما سـبق بل يتم التبادل مع الماء من خلال الــــــ Fan Coil، أو المبادل الحرارى، و هو بذلك يشــبه مبرد المياه الذى نشــرب منه، لكن المياه الباردة فيه تســتخدم لتبريد الهواء لا

للشـــرب. وهو الأعلى فى الكفاءة لان الحرارة النوعية لماء 4.1 و للهواء حوالى 1 و لهذا الســـبب يكون اســتخدام التكييف المركزى بنظام التشــلر Chiller أو المياه المبردة أفضــل للأحمال الحرارية الكبيرة. وفى شكل 3-22 توضيح لتفاصيل هذه الدورة.



شكل 3-22

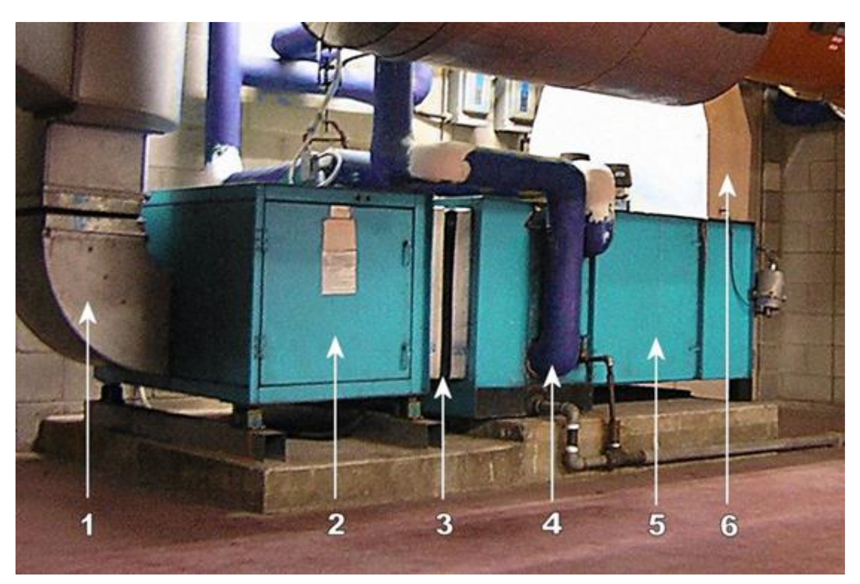
وفى شكل 3-23 يظهر أحد أمثلة أماكن تواجد مكوناته.



شكل 3-23

وفكرة العمل المبسطة لهذا النوع من أجهزة التكييـــــف المركزى يمكن تلخيصــها باستخدام شكل 3-22:

1. في الدورة الأولى : يخرج الماء بارداً CHWS، Child Water Supply من الـــ Chiller متجهاً إلى وحدة التبادل الحرارى AHU (شـكلها الحقيقى في شـكل 3-24) والتي يحدث بداخلها التبادل الحرارى، حيث يدخل إليها الهواء الساخن القادم من المكان المراد تكييفه، وفى نفس الوقت يدخل إلى الـــ AHU الماء البارد القادم من الـــــ Chiller مدفوعا بمضخات المياه ليخرج الهواء بارداً، ويفقد الماء برودته ويسمى Chilled Water Return CHWR، ويعود إلى الـ Chillers.



1 – Supply duct

2 – Fan compartment

3 – Vibration isolator ('flex joint')

4 – Heating and/or cooling coil

5 – Filter compartment

6 – Mixed (recirculated (return) + outside) air duct

شكل 3-24

2. في الدورة الثانية يدخل ماء المتكثف البارد CDWS إلى الـ Chiller (حوالى 29 درجة) قادماً من أبراج التبريد Cooling Tower لاستخدامه في تبريد الفريون، ونقل الطاقة التي اكتسبها الفريون خارج الشيللر

فيســـخن هذا الماء إلى حوالى 34 درجة ويتم نقله إلى الأبراج ويســـمى عندها بماء التكثيف الراجع CDWR وتتكرر العملية.

3. في الدورة الثالثة وهى الخاصـة بالفريون الذى يدور فى Small Loops التي تظهر في وسـط الشـكل، ويكون بارداً فى الجزء الأيســر من الدورة (حوالى 6 درجات مئوية) فيمر عليه الماء المدفوع بالمضــخة فيبرد الماء ويخرج متجها إلى الـ AHU، بينما ترتفع درجة حرارة الفريون إلى حوالى 12 درجة مئوية في الجزء الأيمن من دورة الفريون حيث سيمر عليه الماء القادم من أبراج التبريد لنقل هذه الطاقة المكتسبة في الفريون بعيداً. ولكى يفقد الفريون الحرارة التى اكتسبها يتم ضغطه بواسطة الـــــــ Compressor (الشيللر يتكون من الأجزاء الثلاثة : المبخر والمكثف والضاغط Compressor).

ملحوظة :

كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة باوند واحد من المادة (450 جرام) درجة واحدة تســـمى بالحرارة النوعية (C_p) Specific Heat. ويهمنا هنا أن نشير إلى أن الحرارة النوعية للماء أعلى من الحرارة النوعية للهواء بأربعة أمثال. ولهذا فإن اســـتخدام المبخر Evaporator فى تبريد ماء داخل Chillers والتى فى الغالب تكون فى مكان بعيد عن المبنى ربما بعشـــرات الأمتار ثم نقل الماء المبرد إلى المبنى من خلال مواسـير كما فى شـكل 3-25، ثم جعل هواء المبنى المار خلال Ducts يصـطدم بمواسـير الماء المبردة داخل مبادل حرارى يعرف بالـ Air Handling Unit، AHU أو داخل وحدات اصغر تسمى Fan Coil Unit، FCU، هذه الطريقة أفضـل وأعلى فى الكفاءة من اسـتخدام المبخر Evaporator فى تبريد هواء ثم نقل هذا الهواء مباشرةً داخل Ducts إلى المبنى.

لاحظ فى التكييف الهوائى نستخدم Duct ضخم لنقل الهواء بينما فى التبريد المائى نستخدم مواسير صغيرة نسبياً كما فى شكل 3-25.



شكل 3-25

3-14-7 ملاحظات أخيرة

- الفرق بين الـ FCU وبين الـAHU هو أن القدرة التبريدية فى الـ FCU في حدود من 1 طن تبريد إلى 4 طن تبريد، بينما تكون الـــــAHU بسعة تبريدية تصل إلى 100 طن تبريد. والفرق الثانى بينهما هو أن الهواء يتم توزيعه فى الـ AHU بواسطة مجارى توزيع Duct توزع الهواء البارد على المبنى بالكامل، بينما يكون خروج الهواء من الـ FCU على جزء محدد داخل المكان المراد تكييفه لان حجمها اصغر.
- وهناك فرق آخر بين الAHU و الـ FCU، حيث أن الـ AHU تغير من الهواء و تجدده و تعمل على تبريده بالطبع، أما الـ FCU فهى تقوم فقط بتبريد الهواء لا تقوم بتجديده.
- يعتبر استعمال مصطلح "حصان" بدلاً من "طن" خطأ شائع، و يجب عدم استخدامه لقياس قدرة التبريد الناتجة من جهاز التكييف، ومن الأفضـــل و الأدق علمياً اســـتخدام وحدة التبريد "الطن التبريدي" كقياس للمقارنة بين أجهزة التكييف المختلفة، علماً بأن الطن هو الناتج التبريدي النهائي الملموس للجهاز، ومصطلح "حصان" يطلق على قدرة موتور الـ Compressor فقط، وليس قدرة جهاز التكييف الكلية.

الفصل الرابع

تصميم الدوائر الفرعية

4

الفصل الرابع

تصميم الدوائــــــــــر الفرعيـــــــــــة

Branch Circuit Design

طبقا لتعريف الكود الأمريكي (NEC) فإن الدوائر الفرعية (Branch Circuits) هى الدوائر النهائية فى شـــبكـة التوزيع، والتى تنتهى بحمـل (Load). ويتم تصـــميم هـذه الـدوائر فى المرحلـة الأولى من التصـــــــــميمات الكهربية (اختيار الـ CB والكابل المناسبين لكل Load) ، ثم يتم تجميع هذه الدوائر فى لوحات التوزيع الفرعية Distribution Boards، ثم يتم تصـميم اللوحات العمومية Main Panels التى تغذى اللوحات الفرعية، وأخيرا يتم ربط اللوحات العمومية بشـــبكة التغذية الخاصـــة بالمدينة التي يقع بها المشروع.

وبالتالى فنحن أمام نوعين من الدوائر:

1. **الأول:** دوائر التغذية الفرعية Branch Circuits، و هي الدوائر التي تبدأ من لوحة توزيع فرعية و تنتهي على حمل معين (لمبة – بريزة – مكيف – سخان...... إلخ) .
2. **الثاني:** دوائر التغذية العمومية Main Feeders، و هي الدوائر التي تبدأ من لوحة توزيع عمومية و تنتهي على لوحة توزيع فرعية.

و الفرق الأساسي فى قواعد التصميم المتبعة فى كلا النوعين يكمن في طريقة تقدير قيمة الـــ Load، ففي النوع الأول يكون الـــ Load محدد القيمة بالضبط لأنه يخص حمل معين (موتور، سخان، لمبات إضاءة، جهاز تكييف إلخ) . أما في النوع الثاني (الذى سيدرس تفصيلا فى الفصل الخامس) فقيمة الـــ Load فيه تحتاج إلى دراســـة خاصـــة لأن اللوحة الواحدة تشـــتمل على مجموعة أحمال قد تكون تعمل معا في وقت واحد، أو تكون الأحمال منفصلة عن بعضها، وبالتالي فحملها غير محدد بالضبط.

وهذا الفصل مقسم إلى جزأين:

الجزء الأول:

يتم فيه شـــرح قواعد التصـــميم الأولية للدوائر الفرعية (وهى الدوائر المنتهية بحمل محدد). (قواعد تصـميم دوائر التغذية العمومية (التي تنتهى على لوحة) سـيتم دراسـتها ضـمن الفصـل الخامس وليس ضمن هذا الفصل).

الجزء الثاني:

مخصـص لاختبارات التأكد من صـحة التصـميم الأولي للدوائر (يمكن أن تكون دائرة فرعية إذا كان الحمل عاليا أو تكون دائرة رئيسية) . و تشتمل على ثلاثة اختبارات:

1. الأول هو اختبار تحمل الحمل الحرارى للكابلات
2. الثاني هو اختبار الهبوط فى الجهد فى نهاية الكابل
3. الثالث هو اختبار تحمل الكابلات / الـ CBs لتيارات القصر

وهى الاختبارات التى تجعل التصميم نهائيا إذا اجتازها بنجاح.

الجزء الأول: التصميم الأولي للدوائر

المقصـود بكلمة "تصـميم أولي" هنا إنه ليس نهائيا، بل يجب عمل اختبارات صـحة التصـميم الثلاثة التي سنتحدث عنها في الجزء الثاني من هذا الفصل حتى يكون التصميم نهائيا وليس أوليا.

والمقصود بتصميم الدوائر عموما هو تحديد:

1- السعة المناسبة لـ CB (I_{CB}) .

2- مساحة المقطع المناسب للكابل بـ mm^2 بناء على قيمة I_{Cable}.

و ستتوقف القواعد المستخدمة في حسابات مقطع الكابل، أو اختيار الـCB أساسا على طبيعة الأحمال (الـ Loads) ، حيث تنقسم الأحمال الكهربية عموما إلى نوعين:

1. أحمال Static لا تشتمل على محركات (مثل دوائر الإنارة والسخانات).
2. أحمال Dynamic تشتمل على محركات. وهذه الأحمال الديناميكية تنقسم بدورها إلى نوعين:
   - أحمال تشتمل على محركات صغيرة (مثل وحدات التكييف الشباك أو المنفصل).
   - أحمال تشتمل على محركات كبيرة (كما مضخات الحريق أو فى المصانع).

وفى هذا الجزء سنعرض القواعد المناسبة لكل نوع.

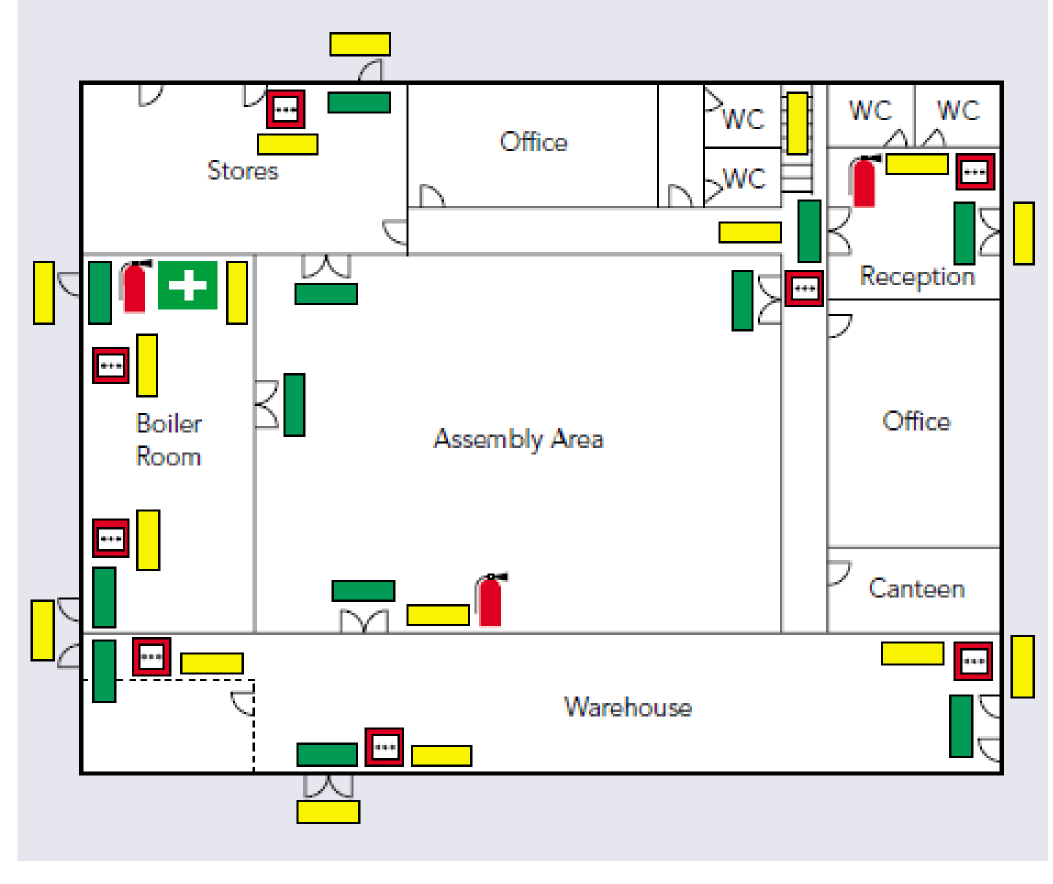
4-1 مبادئ عامة لتصميم الدوائر الفرعية

وقبل البدء فى تصـــميم الدوائر الفرعية يجب الإشـــارة إلى وجود بعض المبادئ العامة التى يجب مراعاتها عند التصميم. وسنعرض هنا بعضا من هذه المبادئ طبقا لأحد أشهر الأكواد العالمية وهو الكود الأمريكي (NEC). فمن هذه المبادئ:

1. يتم تغذية الأحمال المتشـــابهة فقط فى الدائرة الواحدة (يمنع مثلا تغذية أحمال إنارة وبرايز معا فى دائرة واحدة).
2. أحمال القوى يتم تغذيتها فى دوائر منفصلة (على سبيل المثال: كل تكييف أو سخان يجب أن تكون له دائرة منفصلة ولا يغذي معه أية أحمال أخرى).

3. حمل دائرة الإنارة فى الشقق السكنية يكون فى الغالب فى حدود 4: 6 أمبير والـــ CB الخاص به يكون 10 أمبير، لكن هذا هو الحد الأدنى، و بالطبع يمكن أن يكون لدينا دوائر إنارة لها أحمال أعلى من ذلك، لاسـيما في دوائر الإنارة فى المجمعات التجارية الكبيرة، وهذا بالطبع يسـتلزم تغيير قيمة الـــــ CB والكابل. وفى دوائر الإنارة فى المصانع يضاف Contactor ليستخدم كمفتاح ON/OFF ليمكنه تحمل التيار العالي.

4. يتم تجميع الكشـــافات المتقاربة مع بعضـــها لتتغذى من دائرة واحدة ما لم تكن من نوعية تغذيتها مختلفة (كشـــافات الإنارة العادية مثلا لا تغذى من نفس الدائرة المغذية لكشـــافات إنارة الطوارئ). والشـــكل التالى يبين أهم الأماكن التي يجب أن تزود بلمبات الطوارئ، وهى اللمبات التى تحوى بطاريات ضمن تركيبها، وتضيء أتوماتيكيا عند انقطاع التيار العادى. وأهم هذه المناطق : السلالم، ودورات المياه، ومكان لوحة الإنذار، وأماكن طفايات الحريق، كما يجب أن تكون كافة اللوحات الإرشـــادية بالمبنى لاســيما اللوحات التى تشـــير لمناطق الخروج Exit Signs من هذا النوع من اللمبات.



5. دائرة البرايز Sockets (المخارج العامة) يكون حملها فى معظم دوائر الشقق السكنية فى حدود 8 A، ولا يقل الـ (CB) الخاص بها عن 16A. لكن بالطبع هناك بعض الأحمال التى قد تحتاج لتيار أكبر من ذلك، فعندها يمكن أن يوضع Junction Box فى المكان المطلوب مع تزويد الدائرة بمفتاح مزدوج Double Pole SW للتحكم فى فصل وتشغيل هذه الأحمال.

6. الحمل الكلى على كل دائرة فرعية لا يجب أن يزيد عن 80% من قدرة الـ CB الخاصة بالدائرة خاصة إذا كان الـ Load يعمل بصورة متصلة.

7. يصنف الحمل على إنه "حمل متصل" إذا عمل لمدة أكثر من 3 ساعات دون انقطاع.

8. قدرة السلك Wire Rating عموما يجب أن تكون أكبر من الـ CB Rating الذى يحميه.

4-1-1 ملاحظات إضافية من الكود المصرى

1. يجب أن تصـــمم دوائر الإنارة العمومية بحيث تكون قادرة على حمل التيار الإجمالي شـــاملة تيار المصـــباح وأجهزة تشـــغيله وأية توافقيات (Harmonics) قد تكون موجودة بالدائرة وذلك في حالة الدوائر العمومية (النهائية) للإنارة والتي تغذي مصـــابيح التفريغ الكهربي (Gas Discharge Lamps). ويتم تحديد الحمل وفى حالة عدم توافر معلومات كافية يحسب كالآتي:

الحمل (فولت. أمبير) = قدرة المصباح بالوات × 1.8 (على الأقل)

ويلاحظ أن رقم 1.8 مبني على أساس أن تكون الدائرة ذات معامل قدرة يساوي أو يزيد عن 0.85، مع مراعاة الفقد الناتج عن أجهزة التشغيل ووجود تيارات التوافقيات.

2. عند استخدام جهود مختلفة أو أنواع مختلفة من التيار، يراعى أن تكون الــ Sockets الخاصة بكل جهد أو نوع مختلفة تماماً فى الشـــكل عن الأخريات حتى لا يحدث خطأ فى الاســـتخدام. أما إذا كانت الاختلاف في مصـــدر التغذية (تغذية عادية / تغذية من مولد الطوارئ مثلا) فيجب أن يكون هناك اختلاف في لون الـ Socket كما في شكل 4-1.



شكل 4-1

3. يراعى عند استعمال عدد من الـ Sockets بحجرة مساحتها 50 متراً مربعاً أو أقل موزعة على أكثر من دائرة فرعية نهائية، أن تكون جميعها على نفس الــ Phase وذلك لمنع احتمال وجود تيار بجهد 380 فولت بين أى سلكين موصلين إلى two sockets بنفس الحجرة.

4. وفى حالة الحجرات ذات المساحة أكبر من ذلك، وكان هناك ضرورة لتوزيع الــــــ Sockets على دوائر فرعية نهائية تغذى من Phases مختلفة، فيجب أن يراعى تركيب الـ Sockets بحيث يخدم كل Phase مســاحة مســتقلة بالحجرة وذلك لتفادى أن يلمس شــخص جهازين يغذى كل منهما من

Socket على Phase يخالف الـــــ Phase المغذى للجهاز الآخر، وفى هذه الحالة يجب تمييز غطاء كل Socket بعلامة مختلفة.

5. يراعى فى حالة استـخدام Sockets قوى ذات سـعة 16 أمبير فأكثر أن توصـل كل منها مباشـرة بدائرة نهائية خاصـة بها إلى لوحات التوزيع، وإذا ما كانت هناك ضــرورة لتوصـيل أكثر من مخرج من هذا النوع على دائرة واحدة فى مكان واحد يستخدم فيه جهاز واحد متنقل فلا يجب أن يزيد عدد المخارج عن أربعة.
6. يراعى عند اســتخدام Sockets في جهتين مختلفتين من نفس الحائط أن تترك مســافة أفقية فيما بينهما مقدارها 150مم على الأقل لتجنب انتقال الصوت من خلالها.
7. يجب أن تكون الــ Sockets فى الحمامات أو المطابخ أو ما يماثلها فى أماكن بحيث لا تكون فى متناول الذراع لشخص مبلل بالمياه.
8. يجب مراعاة اختيار درجة الحماية (IP) المناسبة للـــــ Sockets فى الأماكن المعرضة للمياه أو الأتربة.
9. لا يسمح بوجود الـ Sockets فى حيز حمامات السباحة وكبائن الاستحمام.
10. يكون منســوب تركيب المقابس Sockets من 0.3 إلى 0.4 م من الأرضــية النهائية فى الأماكن السكنية والمكاتب باستثناء المطابخ والحمامات فتكون على منسوب من 1.2 إلى 1.35 م.
11. يجب ألا تزيد المسافة الأفقية بين مخرج الــ Sockets والحائط العمودي عــن 1.80م وبين مخـرج المقبس والمخرج الذى يليه عن 3.65م.
12. يحظر تركيب الــــــ Sockets أفقياً على أسطح ترابيزات المعامل Laboratory Tables أو ما يشابهها لمنع تراكم الأتربة والرطوبة داخل أجزائها المكهربة.
13. يراعى ألا يزيد عدد مخارج الإنارة، أو الــ Sockets التى تستعمل لوحدات الإنارة والتى تحمل على دائرة فرعية نهائية واحدة عن عشرة مخارج.
14. يجب مراعاة البنود الخاصة بمقطع موصلات الدوائر الفرعية النهائية لمخارج وحدات الإضاءة و الــ Sockets بالمجلد الثاني للكود المصرى للتركيبات الكهربية.

2-4 تصميم الدوائر الفرعية المنتهية بـ STATIC LOADS

في حالة الأحمال Static Loads التي لا تحتوي على محركات (مثل دوائر الإنارة أو الســـخانات) وهى التى تعرف بـــ Static Loads يتم اختيار المقطع المناسب للكابل وكذلك الـــ Rated Value المناسبة للـCB طبقا للخطوات التالية في جدول 4-1:

جدول 4-1: خطوات التصميم للأحمال الاستاتيكية

1. احسب تيار الحمل I_L (Load Current).
2. اختر الـCB بحيث لا يقل التيار المقنن له (الـ Rated Current) عن مرة وربع من قيمة تيار الـ Load، أى أن:

$$I_{CB} > 1.25\ I_L$$

3. استخدم معاملات تصحيح تحميل الكابلات De-rating factors لحساب الـــــــ Thermal Rating للكابل ($I_{corrected}$) ، أن احتاج الأمر إلى ذلك.
4. اختر الكابل بحيث يكون الـــــ Rated Current للكابل أكبر $I_{corrected}$ المحسوب فى الخطوة السابقة، و أكبر من تيار الـCB المحسوب في الخطوة الثانية. وعموما يجب تحقق شرطان:

$$I_{CABLE} > I_{CB} \text{ and } I_{CABLE} > I_{Corrected}$$

4-2-1 ملاحظات هامة حول القواعد السابقة

1. لاحظ أن الـ Rated Current للكابل يكون دائما أكبر من الـ Rated Current للـCB و هذا أمر منطقي حتى يمكن للـCB أن يحمى الكابل.
2. لاحظ أيضا أن تيار الـCB أكبر من تيار الـــ Load بنسبة 25% حتى نضمن ألا يسخن الـCB مع التحميل المستمر.

3. نختار دائما **أقرب** قيمة قياسية(Standard Value) لتيار الـــ CB أو الكابل بحيث تكون **أعلى** من القيمة المحسوبة من القواعد السابقة. ويمكن التجاوز إلى قيمة أعلى بخطوة من القيمة القريبة مباشرة فى حالة تقارب القيمة المحسوبة مع أقرب قيمة قياسية. على سبيل المثال إذا كانت القيمة المحسوبة لـ CB تساوى 23A فأقرب قيمة قياسية هى 25A لكننا يمكن أن نتجاوزها بخطوة ونختار 32A.
4. هذا التجاوز السابق لا يصلح عند اختيار قيمة الـــ Short Circuit Capacity للـــ CB مثلا، بل يجب دائما أن نختار الأقرب مباشرة دون زيادات حتى لا يتأخر الـ CB فى فصل العطل.
5. يجب تصـــحيح قيم التحميل للكابلات فى حالة وجود الكابل بجوار كابل آخر أو أكثر، أو فى حالة وجود الكابل فى درجة حرارة أعلى من القيمة القياســية إلى غير ذلك من العوامل التى نتعرض لها بالتفصــيل فى الجزء الثاني من هذا الفصـل، وذلك باسـتخدام جداول التصـحيح التى تعدها الشـركة المصنعة للكابل.

مثال 4-1:

اختر الكابل و الـــCB المناسبين لتغذية 3-Phase Load موصل على شكل دلتا قدرته 21kW، وله معامل قدرة (Power Factor) يســاوى 0.8 علما بأن درجة حرارة الجو تصـــل إلى 50 درجة مئوية، وأننا نستخدم Single Core Cable، معزول بمادة PVC، مع الأخذ فى الاعتبار أنه سيتم تمديد الكابل فى ماسورة بجوار كابل آخر، وأن جهد التشغيل 415 فولت.

الحل:

1- نحسب قيمة تيار الـ Load:

$$I_{Load} = \frac{21000}{\sqrt{3} \times 415 \times 0.8} = 36.5A$$

2- نختار أقرب CB بحيث تكون الـ Rated Value له أعلى من مرة وربع تيار الـ Load:

$I_{CB} = 1.25 \times 36.5 = 45A$

وأقرب قيمة قياسية لـ CB في هذه الحالة هي $50A$.

3- للوصول إلى الحمل الحراري Thermal Rating الذي يتم اختيار الكابل على أساسه، يجب أن نأخذ في الاعتبار قيم معاملات التصحيح De-rating factors، (ستشرح بالتفصيل لاحقا في الجزء الثاني من هذا الفصل) وهي هنا:

i. معامل التصحيح حسب درجة حرارة الجو = 0.85.

ii. ومعامل التصحيح حسب عدد الكابلات المتجاورة = 0.81، وبالتالي فقيمة تيار الـ Load المعدل حسب الجداول السابقة هو:

$$I_{Corrected} = \frac{36.5}{0.81 \times 0.85} = 55A$$

4. الآن يجب أن تحدد بدقة أمرا هاما وهو طريقة تمديد الكابل، فإذا فرضنا أن الكابل ممدد داخل ماسورة Duct، فمن الجدول رقم 2-5 في الفصل الثاني نجد أن أنسب كابل هو $25mm^2$، حيث يتحمل هذا الكابل 80A، وبالتالي فهو يحقق القاعدة ($I_{CB} > I_{Cable}$) .

5. ويكتب اسم الكابل على الصورة: ($4 \times 25\ mm^2$) Cu إذا كان الكابل من النوع الـ Multicore.

لاحظ أنه لو تم تمديد الكابل بمفرده داخل ماسورة أي بدون كابلات مجاورة له فإننا سنكتفي فقط في الخطوة الثالثة بتصحيح الحمل حسب درجة الحرارة، وعندها سنختار الكابل المناسب لتحمل تيار قدره

$$I_L(corrected) = \frac{36.5}{0.85} = 43A$$

لكن هذا التيار لا يحقق الشرطان اللذان أشرنا إليهما في الجدول السابق وهما أن تيار الذي يتحمله الكابل يجب أن يكون أكبر من تيار المفتاح ومن القيمة المصححة، وهو هنا ليس أكبر من تيار المفتاح (50A) ولذلك فإن كثيرا من المصممين يستخدم قيمة المفتاح في البسط (50A) بدلا من قيمة تيار الحمل (36.5A) لضمان أن التيار المصحح سيكون دائما أكبر من تيار المفتاح.

3-4 تصميم الدوائر الفرعية المنتهية بـ DYNAMIC LOADS

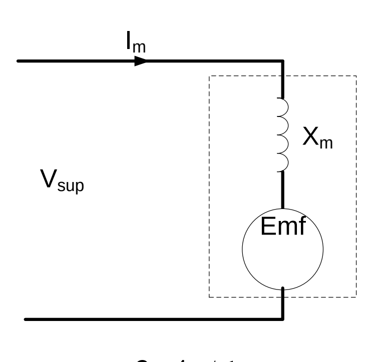
الشيء الوحيد الذى سيحدث فرقا كبيرا بين القواعد الحاكمة لتصميم دوائر الـــ Static Loads وبين قواعد تصميم دوائر المحركات هو ما يعرف بتيار البدء المرتفع فى المحركات High Starting Current)).

والـ Rated Current للمحرك يحسب بالطريقة العادية بمعرفة قدرة الموتور كما فى المعادلة 4-1

$$I_m = \frac{P}{V\cos\phi} \qquad 4-1$$

مع ملاحظة أن هذه المعادلة مكتوبة بفرض إنه single phase motor، إما في حالة الــــــــ three phase فيتم استبدال Vفي المعادلة بـ $\sqrt{3}\,V_L$)

لكن عند البدء فى تشــــغيل المحرك يظهر تيار أكبر بكثير من هذه القيمة يســـمى تيار البدء I_{ST}، (Starting Current)، وهذا التيـار يســـتمر لثوانى معدودة ثم تعود قيمة التيار إلى القيمة الطبيعية المحســوبة من المعادلة 4-1. و الســبب فى ظهور هذا التيار المرتفع عند البدء يمكن أن يفهم من الدائرة المكافئة للموتور والتى تظهر فى شكل 4-2.



شكل 4-2

ومنها نستنتج أن قيمة تيار الموتور

$$I_m = \frac{V_{sup} - Emf}{X_m} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4-2$$

$$Emf = k\,\omega\,\phi \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4-3$$

حيث ω سرعة الموتور

Ø   قيمة الفيض

وبما أن الموتور يبدأ حركته من السرعة صفر ، وبالتالى فإن قيمة I_m عند البدء تساوى

$$I_m = \frac{V_{sup}}{X_m} \text{..............................} 4-4$$

وهى قيمة عالية جدا نظرا لانخفاض قيمة X_m، لكن مع تزايد سـرعة الموتور (ω) فإن قيمة التيار I_m تبدأ فى الانخفاض تدريجيا بسبب انخفاض قيمة $(V_m - E_m)$ فى المعادلة رقم 4-2 حتى تستقر عند القيمة الطبيعية المحسوبة من معادلة 4-1.

وبناء على المقدمة السابقة فإن الـ Rated Current للـ CB لابد أن تراعى القيمة المرتفعة لتيار البدء، ومن ثم فلابد أن تكون $(I_{CB} > I_{ST})$ وذلك حتى لا تفصل دائرة المحرك عند بدء التشغيل.

4-3-1 تحديد قيمة تيار البدء من الـ Name Plate

ويمكن حساب قيمة تيار البدء فى المحركات من معرفة ما يسمى Code kVA الذى يكون مطبوعا على لوحة بيانات المحرك المعروفة بـ Name Plate (شكل 4-3).

SIEMENS

PE•21 PLUS™ — PREMIUM EFFICIENCY

ORD.NO.	1LA02864SE41	E NO.		
TYPE	RGZESD	FRAME	286T	
H.P.	30.00	SERVICE FACTOR	1.15	3 PH
AMPS	34.9	VOLTS	460	
R.P.M.	1765	HERTZ	60	
DUTY	CONT 40°C AMB.	DATE CODE		
CLASS INSUL	F	NEMA DESIGN	B	
K.V.A. CODE	G	NEMA NOM. EFF.	93.6	
SH. END BRG.	50BC03JPP3	OPP. END BRG.	50BC03JPP3	

51-770-642

MILL AND CHEMICAL DUTY QUALITY INDUCTION MOTOR

Siemens Energy & Automation, Inc. Little Rock, AR — MADE IN U.S.A.

شكل 4-3

وبعد معرفة هذا الـ kVA Code، ثم بمساعدة الجدول 4-2 يمكن حساب قيمة I_{ST} كما في المثال التالي.

جدول 4-2: القدرة عند البدء

(kVA/HP) at starting	kVA Code
0-3.14	A
3.15-3.43	B
3.44-3.99	C
4-4.49	D
4.5-4.99	E
5- (5.59)	F
5.6-6.29	G
6.3-7.09	H
7.1-7.99	J
8- (8.99)	K

مثال 4-2:

احسب تيار البدء للموتور المبينة لوحته فى شكل 4-3.

الحل:

من لوحة البيانات فى شكل 4-3 نجد أن قدرة المحرك تساوى 30HP وجهد التشغيل 460V وأن الــ kVA Code الخاص به هو الحرف (G)، ومن الجدول 4-2 نجد أن kVA/HP المقابل لهذا الرمز هو 5.6-6.29، (سنختار قيمة متوسطة بينهما) ومن ثم يمكن حساب تيار البدء كما يلى (حيث 460 هو V_L):

$$kVA/HP\ ]_{ST} = \frac{5.6+6.29}{2} = 5.9 \quad kVA/HP$$
$$kVA\ ]_{ST} = 5.9 \times 30 = 177\,kVA$$
$$I_{ST} = \frac{177 \times 1000}{\sqrt{3}\ 460} = 222A$$

لاحظ أن تيار البدء (222A) يســاوى فى هذا المحرك حوالى ســتة أمثال التيار الطبيعي الذى يســاوى 34.9 A كما هو واضح على لوحة البيانات.

عمليا يجب فى مثل هذه الحالات تركيب دائرة للتحكم فى هذا التيار العالي عند البدء، فقد يســتخدم مثلا فكرة دوائر ستار/دلتا إذا كان تركيب المحرك يسمح بذلك أي يبدأ وهو موصل ستار ثم بعد البدء يتحول التركيب إلى دلتا، أو نستخدم دوائر التحكم فى الجهد، أو دوائر الـــ Soft Starting لأن مثل هذا التيار العالي يسبب مشاكل كبيرة فى التصميم.

4-3-2 لوحة بيانات المحرك

لاحظ فى لوحة البيانات السابقة (شكل 4-3) وجود بعض المعلومات الأخرى المفيدة مثل:

عامل الخدمة Service Factor:

وهو يعطى مؤشر على أقصى التحميل يمكن الوصول إليه، فمثلا لو كان هذا العامل يساوى 1.15 كما فى شكل 4-3 فمعناه أننا يمكن تحميل هذا الموتور 15% فوق التحميل الطبيعي له. لكن بالطبع سيكون هذا على حساب العمر الافتراضي له الذى سيقل إذا كثر تحميل الموتور بهذه النسبة.

نوعية العزل Insulation Class:

وهى معلومة هامة جدا لأنه تعطى مؤشر إلى المدى الأقصى فى درجات الحرارة التى يتحملها هذا الموتور، وهناك ستة Classes عالمية كما وردت فى الجدول 2-4 (الفصل الثاني)، وكل منها يتحمل درجة الحرارة المبينة بجوار الرمز. لاحظ فى شكل 4-3 أن العزل من الطبقة F الذى يتحمل 155 درجة.

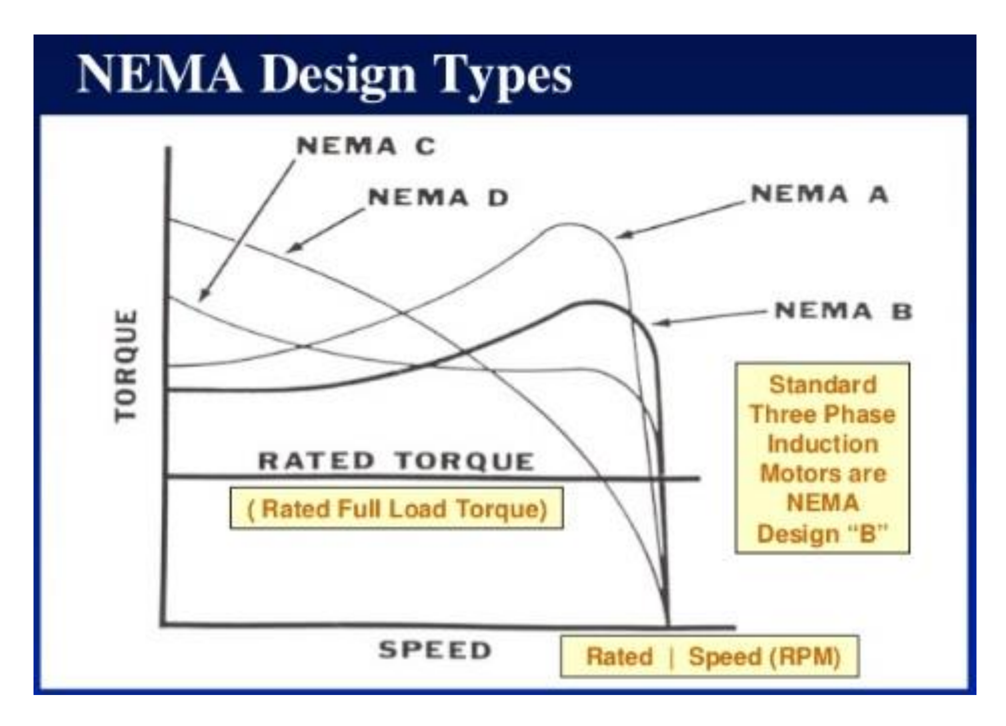
مصطلح الـ NEMA Design

من هذا المصطلح يمكن معرفة نسبة الـ Starting Torque بالـ Rated Torque، كما هو ظاهر في المنحنيات التالية في شكل 4-4 الصادرة عن مؤسسة الـ NEMA وهى اختصار للاسم التالي (NEMA) National Electrical Manufacturer Association وهى الهيئة المسؤولة عن وضع

المواصفات القياسية للتصنيع في أمريكا. والنوع B هو الأكثر انتشار في المحركات، ويعرف بالـ General Purpose Motor. والنوع D مثلا له Starting Torque عالى جدا ولذا يستخدم على سبيل المثال في الـ Punching process كصناعة الأواني و يستخدم في shearing process كقص ألواح الصاج.

مصطلح الـ FRAME

كما هو واضح في شكل 4-3 فالـ Frame أخذ الرقم 286T فماذا يعنى ذلك؟ هو ببساطة دليلك لمعرفة أبعاد هذا المحرك Shaft عن الأرض ما هي المسافة بين مسامير ربط القاعدة، إلخ. وهى أمور غاية في الأهمية لأنك حين تستبدل محرك جديد بآخر، فإن لم تكن هذه الأبعاد متطابقة فلن تستطيع أن تضعه مكان القديم.



شكل 4-4

4-3-3 تصميم دوائر المحركات الصغيرة

فى الواقع إنه ليس هناك حدودا فاصلة محددة بين ما يسمى محركات صغيرة ومحركات كبيرة، لكن يمكن من الواقع العملي أن نقول أن المحركات الـــــ 3-Phase الأقل من 15HP تصنف عادة على أنها محركات صغيرة. وتكون خطوات التصميم لدوائرها كما فى الجدول 4-3:

جدول 4-3: خطوات التصميم للمحركات الصغيرة

1. إحسب تيار الموتور (I_L).
2. إحسب تيار البدء (Starting Current) للمحرك I_{ST}.
3. اختر الـ CB بحيث يكون $I_{ST} < I_{CB}$.
4. اختر الكابل بحيث يكون ($I_{CB} < I_{CABLE}$).
5. فى الغالب لن نحتاج هنا لتطبيق تصــحيح قيم تيار الكابل ليكون أعلى من الحمل الحرارى لأن الكابل أعلى من القاطع، والقاطع أعلى من تيار البدء الذى هو أعلى من التيار الطبيعي غالبا بثلاث أمثال، ومن ثم أعلى من أى تأثير لمعاملات تصحيح الحمل الحرارى، فلا داع لعمل هذه الاختبارات.

وتطبيق هذه القواعد يتفق مع نفس القواعد الســـابقة المســـتخدمة مع الأحمال الاســـتاتيكية (جدول 4-1) باستثناء أن تيار الـ CB أعلى من الـ Starting Current.

مثال 4-3:

اختر الكابل المناسب لمحرك أحادى Single Phase Motor قدرته 5HP وتيار البدء له يعادل 2.5 التيار الطبيعي علما بأن الـــ PF=0.85، و جهد التشغيل V=220 V، وكفاءة التشغيل تساوى 90%. (HP = 746 W).

الحل:

$$I_L = \frac{5 \times 746}{220 \times 0.85 \times 0.9} = 22A$$

$$I_{ST} = 2.5 \times 22 = 55A$$

و أقرب CB يحقق العلاقة ($I_{ST} < I_{CB}$) مناسب هو 63A.

ومن العلاقة (I_{CB} 〈 I_{CABLE})، ثم من الجدول 2-5 (الفصل الثاني) نجد أن أقرب مقطع كابل مناسب يحقق هذه العلاقة هو الكابل ($2 \times 16\ mm^2$) الذى يتحمل 65A (بفرض أن الكابل داخل ماسورة).

تذكر إنه يجب تطبيق عمليات التصحيح لقيمة تيار الكابل إذا استدعى الأمر حسب العوامل المختلفة مثل درجة الحرارة وعدد الكابلات المتجاورة إلخ، للوصول إلى الحمل المصحح للكابل. لكن كما ذكرنا سابقا، فإنه عمليا لن تحتاج لذلك حيث أننا بالفعل رفعنا قيم الكابل بسبب تيار البدء بنسب عالية لا يمكن أن تتأثر بعدها بدرجة الحرارة أو غيره.

ملحوظة:

حين نقول أن هذا الموتور 5kW مثلا فنقصد بذلك الـ Output هو الذى يساوى 5kW، وليس الـ Input، وهذا هو السبب فى أننا قسمنا على الكفاءة فى الحسابات السابقة.

4-3-4 تصميم دوائر المحركات الكبيرة

تكون خطوات التصميم كما فى الجدول 4-4:

لاحظ هنا فى حال المحركات الكبيرة – حيث التيار الطبيعي يكون عالي القيمة – أن تطبيق القاعدة التى تقول أن ($I_{CB} > I_{Cable}$) يصبح غير اقتصادي لأن هذا يعنى بالضرورة أن I_{Cable} سيكون أعلى من $I_{Starting}$ وهذا غير مقبول اقتصاديا، كما فى المثال التالى.

جدول 4-4: خطوات التصميم للمحركات الكبيرة

1. إحسب تيار (المحرك) I_L.
2. إحسب تيار البدء (Starting Current) للمحرك I_{ST}.
3. اختر الـ CB بحيث يكون I_{ST} 〈 I_{CB}.

4. طبق تصحيح قيم تيار الكابل إذا احتاج الأمر.

5. اختر الكابل بحيث يكون $I_{CABLE} \rangle 1.25 I_L$. ويجب أن يكون كذلك أكبر من الـــــــ Thermal rating المحسوب فى الخطوة الرابعة.

5. اضبط جهاز الـ Overload على تقريبا 1.05 من قيمة تيار المحرك.

مثال 4-4:

اختر الكابل والــ CB المناسبين لمحرك 3-Phase بقدرة 50kW، وجهد التشغيل 380 V، ومعامل القدرة له (PF = 0.9)، وله تيار بدء (I_{ST}=2.5 I_r)، وكفاءة التشغيل = 95%.

الحل:

$$I_L = \frac{50{,}000}{\sqrt{3}\times 380\times 0.9\times .95} = 88.9A$$

$$I_{ST} = 2.5\times 88.9 = 222A$$

وأقرب CB قياسى أعلى من القيمة المحسوبة هو 250A.

<u>استخدام الـ Overload</u>

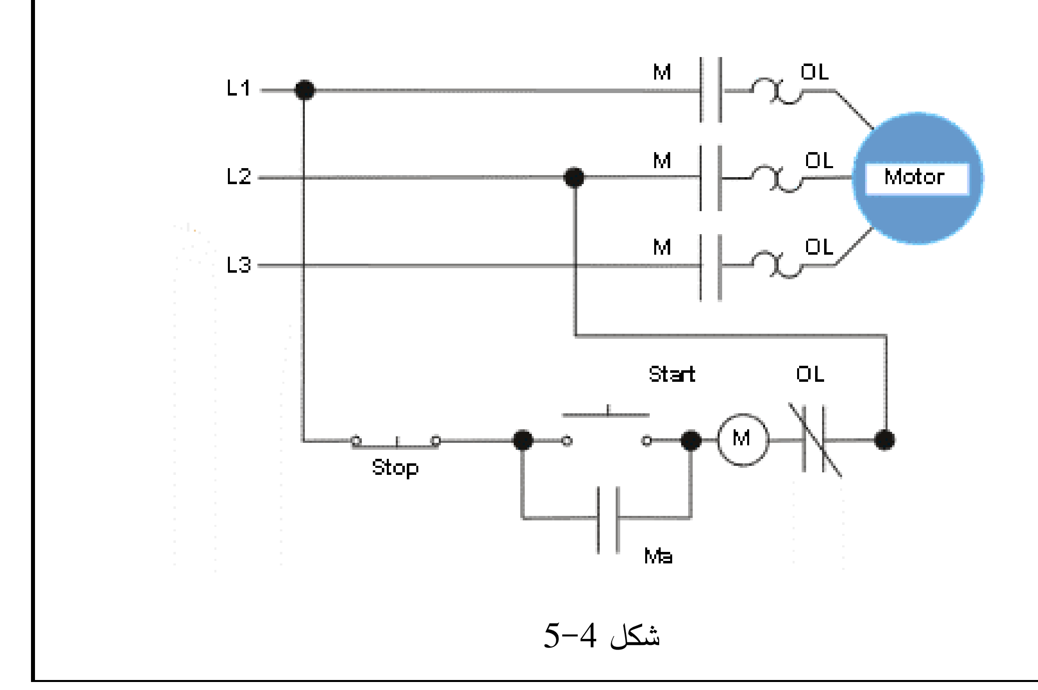
لاحظ أننا لو طبقنا القاعدة (I_{Cable}>I_{ST})، فســـــنحتاج لكابل ذى مقطع كبير جدا مقارنة بالتيار الطبيعي للمحرك، بمعنى أننا ســـــنحتاج لكابل يتحمل أكثر من 250A، رغم أن التيار الطبيعي لا يتعدى 88A، وهذا غير منطقى. والحل أن نطبق مع المحركات الكبيرة قاعدة أخرى، وهى I_{rated} 1.25< I_{cable} (مع تطبيق تصـــحيح الحمل الحرارى إذا احتاج الأمر)، وبها نضـــمن أن مقطع الكابل ســـيكون مناســـبا للتيار الطبيعي فى ظل ظروف التحميل الحرارى المختلفة.

$$I_{Cable} \geq 1.25 \times 88.9 = 111A$$

وأقرب مقطع قياســـى لكابل تياره أعلى من 111A هو $4 \times 50\ mm^2$، والذى يتحمل 138A بفرض إنه ممدد فوق حوامل وذلك حسب الجدول 2-5.

لكن هذا يستلزم وجود Overload Device، وهو جهاز حماية إضافي مكون من جزئين، يركب الجزء الأول منه– وهو الجزء الحساس للحرارة– على التوالي مع ملفات المحرك ومع الـــــــ Main Poles الخاصة بالـــ Contactors، بينما يركب الجزء الثاني منه–وهو عبارة عن الـ Auxiliary Contacts الخاصة به– في دائرة الـ Start /Stop المتحكمة في تشغيل المحرك كما في شكل 4-5.

و يتم ضبطه على حوالي $1.05\ I_L$، أى يضبط تقريبا فى هذا المثال على قيمة 100 أمبير، وذلك من أجل حماية الكابل، حيث أن الــ Rated Current للـ CB (250 A) غير مناسب لحماية هذا الكابل (138A) ضد كافة أنواع الأعطال.



شكل 4-5

4-3-5 تساؤلات هامة

يوجد فى الخطوات المذكورة فى الجدول 4-4 والخاصــة بالتصــميم للمحركات الكبيرة بعض العلاقات التى ظاهرها غير منطقى. على سبيل المثال أصبحت قيمة الـــ Starting Current أعلى من الـــ Rated Current للكابل المستخدم، ومن ثم ظهرت التساؤلات التالية تباعا:

1- هل سيحترق الكابل عند مرور الـ Starting Current؟

بالطبع لا. فرغم أن الــــ Starting Current بالفعل أكبر بكثير من تحمل هذا الكابل إلا أنه يستمر لمدة وجيزة وبالتالى لن يصل الكابل خلال هذه الثوانى إلى درجة السخونة الكافية لكى يحترق.

2- وماذا عن مرور تيار بالموتور أعلى من التيار الطبيعي لكنه فى نفس الوقت أقل من تيار الـ CB؟

ففى المثال السابق مثلا كان التيار المقنن للمحرك 93A بينما تيار الــــ CB كان يساوى 250A فلو مر تيار بالمحرك قدره 200A- نتيجة عطل ما فلن يقوم الــ CB بفصله لأن التيار المار لايزال أقل من I_{CB}، ومن ثم فهناك خطورة على الكابل وعلى المحرك، فما الحل؟.

لعلاج هذه المشــكلة فإن المحركات الكبيرة تزود كما ذكرنا بجهاز حماية إضــافي (OL) Over Load، وهو جهاز حرارى حســاس لأى زيادة فى التيار أعلى من قيمة الضــبط له. وغالبا يتم ضــبطه على حوالى 1.05من قيمة التيار الطبيعي للدائرة، وبالتالى ففى حالة زيادة التيار إلى 200A مثلا فإن الـ Overload سيمكنه بسهولة اكتشاف هذا العطل الذى لا يمكن أن يكتشفه الـCB.

3- فهل سيتسبب الـ Starting Currentفى فصل Over Load؟

والإجابة لا.....لنفس التبرير السابق وهو أن الـــــStarting Current يتناقص بعد ثوانى معدودة فى حين أن جهاز الــــــ Over Load يحتاج لوقت حتى يتأثر بأى ارتفاع فى التيار ومن ثم فلن يتأثر بتيار البدء المرتفع.

4- فهل من الممكن الاستغناء عن الـ CB والاكتفاء بالـ Over Load؟

بالطبع لا...لأن الــ CB أساسى فى الوقاية من الأعطال ذات التيار المرتفع Short Circuits. ورغم أن الــــــ OL سيشعر بكافة الأعطال بما فيها الأعطال ذات التيار المرتفع لكنه سيفصلها متأخرا لأنه يحتاج لوقت كما ذكرنا سابقا، أما الــ CB فلأنه يعمل طبقا لنظرية التأثير المغناطيسى للتيار، فإن أى ارتفاع فى قيمة التيار ستتسبب فورا فى إحداث (Magnetic Trip)، ومن ثم سيفصل الـ CB فورا.

4-3-6 حساب الحمل التصميمي لمجموعة أحمال ديناميكية

والمقصــــــود بالأحمال الديناميكية هنا أن اللوحة تغذى مجموعة من المحركات وليس محرك واحد كما فى الأجزاء الســـابقة. و ســـنحتاج فى هذه النوعية من الحســـابات إلى معلومتين مهمتين عن كل محرك فى اللوحة، وهما:

1- تحديد تيار البدء لكل محرك (I_{St})، مع تحديد أعلى تيار بدء فى المجموعة I_{ST-max}.

2- تحديد التيار المقنن Rated current لكل محرك (I_{rated})، مع تحديد أعلى تيار مقنن فى المجموعة $I_{rated-max}$.

وبعد تحديد هذه المعلومات عن كل محرك، تكون خطوات التصميم كما فى الجدول 4-5:

جدول 4-5: قواعد اختيار الكابل والـ CB العموميين للوحة تغذى محركات فقط

1- حساب قيمة تيار البدء الكلى لمجموعة المحركات I_{St} (Group)، (الذى سنختار على أساسه الـ CB العمومى للوحة) من المعادلة 4-5:

$$I_{St}(Group) = I_{St-\max} + DF\left[\sum I_{rated} - I_{rated-\max}\right] \quad 4-5$$

2- اختر CB أعلى من القيمة المحسوبة في الخطوة رقم 1

3- إحسب قيمة الـ Rated Current لمجموعة المحركات (الذى سنختار على أساسه الكابل الرئيسي) وذلك من المعادلة 4-6:

$$I_{rated}(Group) = 1.25 \times I_{rated-\max} + DF\left[\sum I_{rated} - I_{rated-\max}\right] \quad 4-6$$

4- طبق إجراءات تصحيح قيم التحميل De-rating Factors على القيمة المحسوبة في الخطوة-3، و تأكد أن تيار الكابل الذى سيتم اختياره في الخطوة-5 أعلى منها.

5- اختر الكابل بحيث يكون أعلى من القيمة المحسوبة في الخطوة-4، وأعلى من تيار الـ CB المحسوب فى الخطوة-2.

حيث DF هو معامل الطلب لهذه المجموعة من المحركات، وتتوقف قيمته على عدد المحركات فى المجموعة، حسب الجدول 4-6 (يستخدم في حالة عدم معرفة نسب تحميل المحركات الفعلية) :

جدول 4-6: معامل الطلب لمجموعة محركات (Individual Drives)

عدد المحركات	معامل الطلب
1-5	1
6-10	0.75
11-15	0.7
16-20	0.65
21-30	0.6
31-50	0.55

مثال 4-5:

صمم لوحة توزيع لمجموعة محركات 3-phase مكونة مما يلى:

3 محرك قدرة 5HP

2 محرك قدرة 10 HP

3 محرك قدرة 15HP

اعتبر تيار البدء = 2.5 من قيمة التيار المقنن Rated current لكل محرك، واعتبر حاصل ضرب الكفاءة، والـ P.F يساوى 0.85.

الحل:

إحسب التيار المقنن I_{rated} لكل موتور مع تحديد $I_{rated-max}$ فى المجموعة

I_{rated} (5HP) = 7.1 A

I_{rated} (10HP) = 14 A

I_{rated} (15HP) = 21 A--------- > ($I_{rated-max}$)

نحسب تيار البدء لكل نوع، مع تحديد قيمة أعلى تيار بدء فيهم:

I_{ST} (5HP) = 19 A

I_{ST} (10HP) = 35 A

I_{ST} (15HP) = 52 A ....>(I_{St-max})

وحيث أن لدينا ثمانية محركات، وبالتالى يكون معامل الطلب يساوى DF = 0.75 حسب الجدول(4-6). فنبدأ بتطبيق القاعدة الأولى فى الجدول 4-5 من معادلة 5-4:

I_{Start} (Group) = 52+ 0.75 (3x7.6 + 2 x 14 + 3 x 21-21) = 122 A

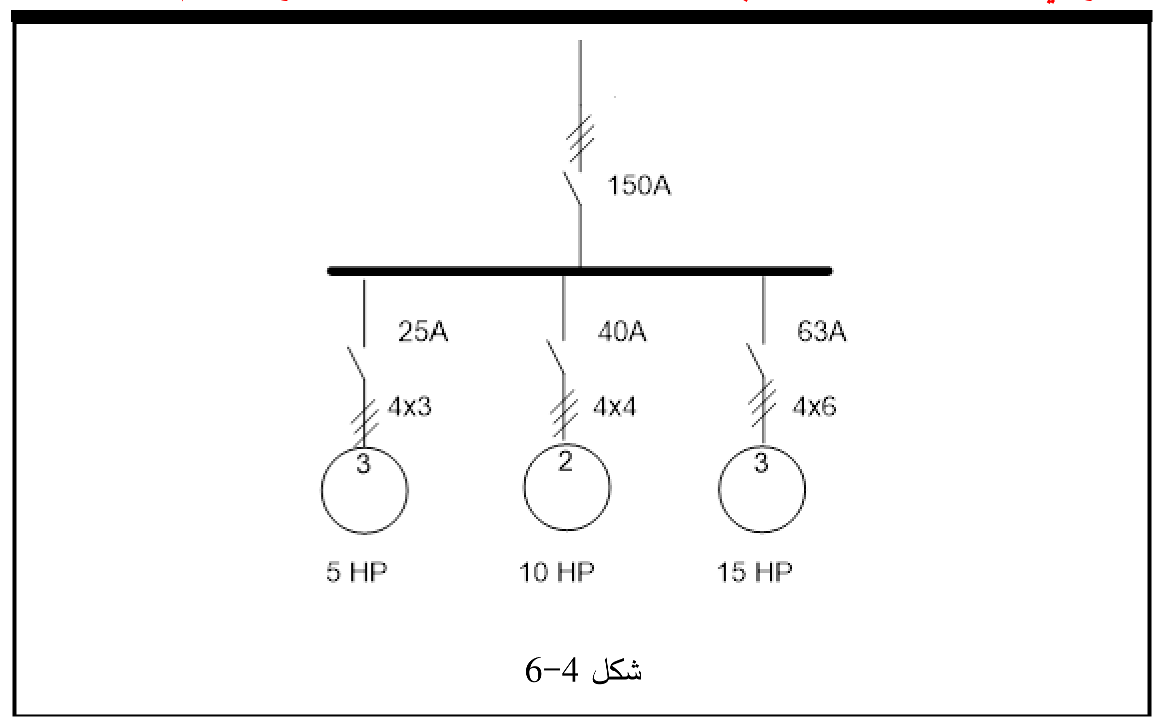
وهذا يعنى أن أقرب CB مناسب هو 125A، ويفضل استخدام 150A لتقارب قيم121A، و 125A.

ثم بتطبيق القاعدة الثالثة فى الجدول 4-5، ومن معادلة 6-4 نجد أن:

I_{Rated} (Group) = 1.25 x21+ 0.75 (3x7.6 + 2 x 14 + 3 x 21-21) = 95 A

وأقرب كابل مناسب حسب الجدول 2-5 بالفصل الثاني (بفرض إنه ممدد بالهواء) هو $4 \times 70\ mm^2$ (يتحمل 171A).

ومن ثم يصبح الشكل النهائى للوحة التوزيع العمومية كما فى شكل 4-6.



شكل 4-6

ملحوظات:

1. كان من الممكن اختيار الكابل الأقل بشرط أن يزود بـ Over Load.
2. عمليات تصـــحيح تحمل الكابلات أن احتجنا إليها (مثل تأثير درجة الحرارة أو عدد الكابلات المتجاورة إلخ) يمكن أن تتسبب فى رفع مقطع الكابل ربما لأكثر من ذلك. لكن في هذه الحالة لن نحتاج لعمل تصحيح طالما الكابل أعلى من تيار البدء.
3. الحســابات الخاصــة بتصــميم الدوائر الفرعية الخاصــة بكل موتور يمكن الرجوع إلى قواعدها فى المثال السابق.

الجزء الثاني: اختبارات التأكد من صحة التصميم

تصميم الدوائر كما فى الخطوات السابقة (اختيار CB معين ثم كابل مناسب) يعتبر تصميما أوليا، ولا يعتبر التصميم نهائيا إلا إذا تم التأكد من صحة هذه الاختيارات بواسطة ثلاثة اختبارات مهمة:

1- اختبار التحمل الحرارى للكابل (لدراسة تأثير درجة حرارة الجو، وظروف التمديد إلخ على تحمل الكابل).

2- اختبار مدى الهبوط فى الجهد Voltage Drop (للتأكد من أن V.D عند نهاية الكابل لا يتعد الحدود المسموح بها).

3- اختبار تحمل الكابل وكذلك تحمل الـCB لأقصى تيار قصر Short Circuit متوقع مروره بالكابل والـ CB.

وغالبا يتم تطبيق هذه الاختبارات على الكابلات الرئيسية فقط فليس هناك معنى لتطبيقها مثلا على دوائر الإنارة الفرعية أو الأحمال الصغيرة، لكن فى حالات خاصة يمكن تطبيقها على الدوائر الفرعية إذا كانت المسافة مثلا بين اللوحة والحمل كبيرة جدا.

4-4 الاختبار الأول: اختبار التحمل الحرارى

من المعروف أن قيم الـــ Rated Currentالمذكورة فى مثل الجدول 2-5 بالفصل الثاني والتى نحصل عليها من الشركات المصنعة لهذه الكابلات تفترض دائما أن الكابل موضوع فى ظروف معينة: منها أن تكون درجة الحرارة فى الوسط المحيط بالكابل لا تزيد عن 40 درجة مئوية (أحيانا تحسب على 25 درجة)، و أن يكون الكابل غير مجاور لأى كابل آخر، بالإضافة لمجموعة شروط أخرى قياسية تضعها الشركة المصنعة للكابل.

والسؤال الآن: ماذا لو اختلفت شروط تمديد الكابل عن هذه الشروط والظروف؟

فى هذه الحالة يجب مراجعة تحميل الكابل، وتخفيض مستوى التحميل بنسب مختلفة تسمى معاملات تصحيح قيمة التحميل (De-rating Factors).

4-4-1 معاملات تصحيح تحميل الكابلات

وعملية المراجعة هذه تتضمن عدة عمليات تصحيحية للوصول إلى التحمل الحرارى Thermal rating المناسب للكابل حتى لا ترتفع درجة حرارة الكابل أثناء التشغيل. ومن هذه المراجعات:

1- تأثير درجة الحرارة:

يتم تصحيح تحمل الكابل طبقا لدرجة حرارة الجو إذا كان ممددا فى الهواء طبقا للقيم المذكورة بالجدول رقم 4-7.

جدول 4-7: تصحيح التحميل حسب درجة حرارة الجو

درجة حرارة الهواء	25	30	35	40	45	50	55
PVC	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.65
XLPE	1.09	1.04	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

أما إذا كان الكابل مدفونا فى الأرض فإن التصحيح يتم حسب درجة حرارة التربة باستخدام الجدول 4-8.

جدول 4-8: تصحيح التحميل حسب درجة حرارة التربة

درجة حرارة التربة	25	30	35	40	45	50	55
PVC	1.22	1.15	1.08	1.00	0.95	0.82	0.71
XLPE	1.14	1.10	0.90	1.00	0.90	0.89	0.84

بالمثل هناك معاملات تصحيح لمتغيرات أخرى غير درجة الحرارة منها:

2- تأثير عمق الدفن(Burial Depth):

جدول 4-9: معامل تصحيح عمق الدفن

عمق الدفن (سم)	مقطع الكابل		
	Up to 70 mm^2	Up to 240 mm^2	Above 300 mm^2
50	1.00	1.00	1.00
60	0.99	0.98	0.97
80	0.97	0.96	0.94
100	0.95	0.93	0.92
125	0.94	0.92	0.89
150	0.93	0.90	0.87
175	0.92	0.89	0.86
200	0.91	0.88	0.85

3- تأثير الحرارة النوعية للتربة(Thermal Resistivity):

جدول 4-10: معامل تصحيح المقاومة النوعية للتربة

الحرارة النوعية للتربة °C.cm/W	80	90	100	120	150	200	250
معامل التصحيح	1.17	1.12	1.07	1.0	0.91	0.80	0.73

4- تأثير تجاور الكابلات فوق حوامل الكابلات:

جدول 4-11: معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة أفقيا ورأسيا فى الهواء

	عدد الكابلات على الحامل				
	2	3	5-4	8-6	أكثر من 9
معامل التصحيح للمجموعات أفقية	0.85	0.78	0.75	0.72	0.7
معامل التصحيح للمجموعات الرأسية	0.8	0.73	0.7	0.68	0.66

5- تأثير تجاور الكابلات تحت الأرض:

جدول 4-12: معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة تحت الأرض

عدد الدوائر	المسافة بين الكابلات					
	Touching		Spacing 15 cm		Spacing 30 cm	
	Flat	Trefoil	Flat	Trefoil	Flat	Trefoil
2	0.81	0.81	0.87	0.87	0.91	0.91
3	0.70	0.69	0.78	0.76	0.84	0.82
4	0.63	0.62	0.74	0.72	0.81	0.77
5	0.60	0.58	0.70	0.66	0.78	0.73
6	0.56	0.54	0.67	0.63	0.76	0.70

لاحظ فى الجدول السابق أن معامل التصحيح يتوقف على المسافة بين الكابلات المتجاورة: فهى إما متلامسة (Touching)، أو متباعدة بمسافة 15 سم، أو 30 سم، ويتوقف أيضا على طريقة وضع الكابلات.

ملاحظات هامة:

1. الجداول السابقة تخص شركة معينة، وستختلف القيم من شركة لأخرى، وبالتالى فالحسابات الدقيقة يجب إما أن ترجع إلى مواصفات الشركة التى تتعامل معها أو إلى مواصفات الدولة التى تقيم فيها.
2. لاحظ أنه إذا احتجنا إلى تطبيق أكثر من معامل تصحيح فى نفس الوقت فإن هذه المعاملات المستخدمة تضرب جميعا فى التحميل الطبيعي للكابل من أجل الوصول إلى التصحيح المناسب.
3. يجب على كل مصمم أن يرجع إلى المواصفات القياسية المعتمدة ببلده، فقد يكون هناك فروقا بين الجداول المذكورة هنا بالكتاب وبين الجداول المعتمدة ببلده، لكن يظل أسلوب التصميم غير مختلف وإن اختلفت قيمة هنا أو قيمة هناك فى جدول ما.

4. بعض المواصفات تفرق بين الـ Current Rating المحسوب لكابل داخل ماسورة فى الهواء أو داخل ماسورة بالحائط (السقف) أو داخل خندق بالأرض أو معلق على الحائط إلى آخر هذه الطرق، وتجعل لكل طريقة من هذه الطرق جدولا خاصا يحسب منه Cable rating، وتصل هذه الطرق إلى أكثر من 8 طرق مختلفة لتمديد الكابلات، وهذا يعنى أن المهندس يجب أن يكون لديه الجدول المناسب لكل طريقة من هذه الطرق، وهذا بالطبع يستلزم منه مراجعة المواصفات القياسية المعتمدة ببلده.

مثال 4-6:

ما هو أقصى تيار يتحمله كابل PVC مقطعه $95mm^2$ إذا كانت حرارة الجو 50 درجة مئوية؟

الحل:

من الجدول 2-5 بالفصل الثاني نجد أن التحميل الطبيعي (عند 25 درجة مئوية) لكابل $95mm^2$ موضوع فى الهواء هو 209 أمبير، ومن الجدول 4-7 نجد أن معامل التصحيح المقابل لدرجة 50 مئوية هو 0.76، وبالتالى فالـ Thermal Rating الصحيح لهذا الكابل عند 50 درجة يساوى 158A فقط:

$$0.76 \times 209A = 158A$$

و ليس 209A كما فى الجدول 2-5.

مثال 4- 7

إحسب التحمل الأقصى لكابل PVC مقطعه $240\ mm^2$ مدفون بالأرض فى تربة حرارتها 50°C على عمق 80 سم بجوار كابلين آخرين.

الحل:

من الجدول 4-8: معامل تصحيح حرارة التربة يساوى 0.82

من الجدول 4- 9: معامل تصحيح عمق الدفن يساوى 0.96

من الجدول 4- 12: معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة (بفرض إنهم متلامسين) يساوى 0.7

ومن الجدول 2-5 بالفصل الثاني نجد أن التحمل الطبيعي للكابل هو 435 أمبير. إذن التحمل الحرارى لهذا الكابل طبقا للظروف المذكورة هو

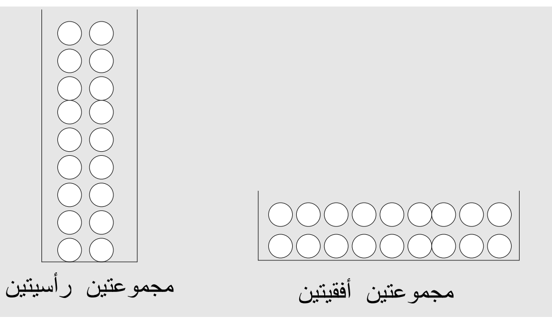
$$435 \times 0.7 \times 0.96 \times 0.82 = 239.7A$$

وهذا يعنى أن الـ Thermal rating الصحيح لهذا الكابل ليس أكثر من 55% من الـ Rating المذكور بالجداول القياسية.

لاحظ أنك لو أهملت هذه التصحيحات واستخدمت الكابل طبقا للتيار المذكور فى الجدول 2-5 بالفصل الثاني دون تصحيح فسيحدث تراكم حرارى داخل الكابل (بمعنى أن الحرارة المتولدة داخل الكابل ستكون أعلى من الحرارة المتبددة من الكابل) وهذا سيؤدى بالطبع إلى احتراق الكابل. ومن هنا تظهر أهمية إجراء تصحيح قيم التحميل الحرارى للكابلات.

مثال 4-8:

مطلوب تمديد 18 كابل على شكل طبقتين كما فى شكل 4-7. قارن بين الطريقتين وإحسب معامل تصحيح الكابلات لكلتا الطريقتين.



شكل 4-7

الحل:

فى حالة وضع الكابلات فى مجموعتين أفقيتين يكون معامل التصحيح من الجدول 4-11 كما يلى:

معامل التصحيح لتسع كابلات أفقية = 0.7

معامل التصحيح لكابلين رأسيين = 0.8

معامل التصحيح للطريقة الأولى (يمين) = =0.7 x 0.8 0.56

بالمثل فى الطريقة الثانية:

معامل التصحيح لتسع كابلات رأسية = 0.66

معامل التصحيح لكابلين أفقيين = 0.85

معامل التصحيح للطريقة الثانية (يسار) = 0.66 x 0.85 = 0.56

إذن لا فرق بين الطريقتين. وفى كلا الحالتين يجب خفض تحميل الكابل إلى 56% من التحميل الطبيعي للكابل.

مثال 4-9:

المطلوب اختيار كابل PVC مناسب لتحمل تيار قدره A 300 علما بأن لكابل مدفون بالأرض فى تربة حرارتها 50°C على عمق 80 سم بجوار كابلين آخرين.

الحل:

من الجدول 4-8: معامل تصحيح حرارة التربة يساوى 0.82

من الجدول 4-9: معامل تصحيح عمق الدفن يساوى 0.96

من الجدول 4-12: معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة (بفرض إنهم متلامسين) يساوى 0.7

وبالتالى يمكن مباشرة حساب الـ Rated Current للكابل المناسب كما يلى:

$$I_{cable} = \frac{300}{0.7 \times 0.96 \times 0.82} = 501A$$

وحيث أنه لا يوجد كابل يتحمل هذا التيار فلذلك سنحتاج إلى كابلين على التوازى، وعندها سيصبح عدد الكابلات المتجاورة أربعة بدلا من ثلاثة، وهذا يستلزم تغيير معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة (من الجدول 4-12) ليصبح 0.63 بدلا 0.7، ومن ثم يصبح التيار المطلوب يساوى:

$$I_{cable} = \frac{300}{0.63 \times 0.96 \times 0.82} = 557\,A$$

وهذا يعنى أننا نحتاج لكابلين يحمل كل واحد منهما (557 /2 = 279A)، ومن الجدول 2- 5 بالفصل الثاني نجد أننا نحتاج إلى كابلين موصلين على التوازى مقطع كل يساوى $185\ mm^2$ لتحمل هذا التيار، ويكتب الحل على الصورة: $2(3 \times 185+95)\ mm^2$.

4-5 الاختبار الثاني : نسبة الهبوط فى الجهد

بعد التأكد من اجتياز الكابل لاختبار التحمل الحرارى طبقا للظروف التى سيمدد فيها الكابل (وذلك بتطبيق معاملات الـ De-rating)، فإنه يجب التأكد بعد ذلك من أن الهبوط فى الجهد Voltage Drop عند نهاية الكابل نتيجة مرور التيار لن يتعدى القيم القياسية المسموح بها هو 4% فى الظروف الطبيعية، أو 8% فى ظروف الطوارئ (في بعض المواصفات تتراوح 3-6%).

وبالطبع فنحن حريصين على التأكد من عدم هبوط الجهد لعدة أسباب:

- أن الهبوط فى الجهد بنسبة 1% فقط يؤدى إلى انخفاض شدة الإضاءة من اللمبات التنجستن بنسبة 3%.
- بعض الأجهزة المنزلية التى لها محركات ثابتة القدرة تتأثر بشدة بانخفاض الجهد، فمن المعلوم أن (P = V x I x cos(φ)، ومن ثم فإى انخفاض بأى نسبة فى الجهد سيؤدى بالضرورة إلى ارتفاع فى التيار بنفس النسبة. والمشكلة أن هذا الارتفاع غالبا لا يكون كبيرا، فلو فرضنا أن هذا الارتفاع فى التيار كان بنسبة 10% فقط، فهذا يعنى أن الـ CB لن يشعر بهذه الزيادة فى التيار وبالتالى لن يفصل الدائرة، فى حين سيظل الجهاز يعانى من هذه الزيادة و من ثم ترتفع درجة حرارته تدريجيا مع الزمن حتى يصل لمرحلة الاحتراق (Thermal Runaway). ومن هنا جاءت أهمية التأكد من عدم هبوط الجهد عن القيم القياسية المسموح بها.

4-5-1 حساب الهبوط في الجهد Voltage Drop

يمكن حساب الهبوط فى الجهد Voltage Drop باستخدام جداول الشركات التقديرية، مقاسا بـ mV/A/m من الجدول 4-13، ثم بمعلومية التيار المار بالكابل بالأمبير وطول الكابل يتم حساب الهبوط في الجهد. و يجب مراعاة أن كل نوع من الكابلات له جداوله الخاصة به حسب نوع الموصل ونوع العزل وجهد التشغيل، وما هو وارد فى الجدول السابق يخص فقط الكابلات (النحاس) المعزولة بـ PVC وجهد منخفض حتى 600 فولت.

جدول 4-13: الهبوط فى الجهد

Voltage drop for single core L.V cables

C.S.A mm^2	Copper conductor — Voltage drop (mv / AMP / Meter)			
	PVC insulation & PVC sheathed		XLPE insulation & PVC sheathed	
	Flat	Trefoil	Flat	Trefoil
4	7.83	7.770	8.337	8.277
6	5.287	5.226	5.628	5.568
10	3.184	3.124	3.401	3.341
16	2.068	2.008	2.203	2.142
25	1.357	1.297	1.440	1.380
35	1.034	0.971	1.085	1.024
50	0.793	0.732	0.836	0.776
70	0.595	0.534	0.624	0.564
95	0.469	0.408	0.490	0.430
120	0.410	0.349	0.417	0.357
150	0.354	0.294	0.366	0.305
185	0.312	0.252	0.322	0.262
240	0.272	0.211	0.278	0.218
300	0.247	0.187	0.253	0.192
400	0.224	0.164	0.220	0.159
500	0.208	0.148	0.211	0.150
630	0.194	0.134	0.191	0.131

Voltage drop for multi core L.V cables

C.S.A mm^2	Copper conductor — Voltage drop (mv / AMP / Meter) — PVC insulation & PVC sheathed	XLPE insulation & PVC sheathed
1.5	20.345	20.341
2.5	12.397	13.197
4	7.741	7.731
6	5.199	5.191
10	3.101	3.094
16	1.988	1.982
25	1.280	1.276
35	0.959	0.955
50	0.720	0.715
70	0.524	0.520
95	0.398	0.394
120	0.341	0.337
150	0.285	0.282
185	0.244	0.241
240	0.204	0.201
300	0.180	0.177
400	0.157	0.155

4-5-2 طريقه أخرى لحساب الهبوط في الجهد:

ويمكن تطبيقها إذا كانت الـ Impedance (Z) معطاة بالـ p.u كما فى حالة الهبوط فى الجهد خلال محول توزيع مثلا، فإن الهبوط فى الجهد عندئذ يمكن أن يحسب مباشرة من المعادلة 7-4:

$$\Delta V_o = Z_{p.u} \times V_{line} \quad 4-7$$

ملحوظات هامة:

1. يحسب الـ VD في دوائر phase -3 كنسبة من الـ V_{line}.
2. لاحظ أن X_{cable} تهمل فى الموصلات الصغيرة، ويكتفى عندئذ فقط بقيمة المقاومة R.
3. جداول الشركات تعطى القيمة للـ VD مضروبة مباشرة فى 2 بالنسبة لدوائر الـ Single Phase، ومضروبة مباشرة فى $\sqrt{3}$ بالنسبة لدوائر الـ 3-Phase.

مثال 4-10:

إذا كان لدينا محول بقدرة 100 kVA ويعمل على جهد 460 V، وله Impedance قيمتها 5%.
إحسـب أقصـى هبوط فى الجهد max. Voltage Drop على طرفى المحول إذا سـحب من المحول تيار الـ Full load.

الحل:

$$\because I_{ph} = \frac{100000}{\sqrt{3} \times 460} = 125A$$

$$\because Z_{\Omega} = Z_{p.u} \times \frac{V_{line}^2}{VA_{base}} = \left[0.05 \frac{460^2}{100000}\right] = 0.1058\Omega.$$

يمكن حل هذا المثال بطريقتين: فيمكن تطبيق الطريقة الأولي المذكورة سابقا كالتالي:

$$\Delta V_0 = (I_{ph} \times Z(\Omega)) = 125 \times 0.1058 = 13.2V$$

$$V.D = \Delta V_0 \times \sqrt{3} = 13.2 \times \sqrt{3} = 23V$$

كما يمكن- كحل آخر - أن نطبق الطريقة الثانية بتطبيق المعادلة 4-7:

$$\Delta V = \frac{5}{100} \times 460 = 23V$$

مثال 4-11:

إحسب الهبوط فى الجهد Voltage Drop عند أطراف كابل نحاسى Multi-core مقطعه يساوى $150\ mm^2$، وطوله 800 متر، ويحمل تيار قدره 100A، وجهد التشغيل 415 فولت.

الحل:

من الجدول 4-13 نجد أن الهبوط فى الجهد على كابل ثلاثى مقطعه $150\ mm^2$ يساوى 0.285 V/km/A.

وبالتالى، فإجمالي الهبوط فى الجهد على أطراف هذا الكابل يساوى:

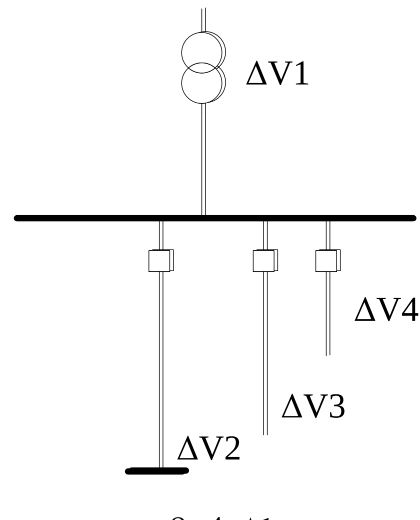
$$0.285 \times 800 \times 100/1000 = 23\ V$$

وهو ما يعادل % 5.4 من قيمة الجهد المقنن (415 / 23)، ويمكن أن تقسم على 380 إذا كان الجهد المستخدم هو 380 كما فى مصر مثلا.

لاحظ أننا قسمنا على 415 وليس على 240 لأن القيم المعطاة فى الجدول 4-13 محسوبة بالنسبة لـ Line voltage مباشرة. كما أننا لم نضرب فى $\sqrt{3}$ لأن قيم الجداول مضروبة أصلا فى $\sqrt{3}$ بالنسبة لدوائر الـ 3-Phase.

لاحظ أيضا إنه لو وجد عدد من الكابلات موصلة فى دوائر على التوازى كما فى شكل 4-8 فإن أقصى هبوط فى الجهد يحسب بجمع أكبر قيم متتالية لـ (ΔV) كما فى المعادلة 4-8:

$$\Delta V_{max}\ (total) = \Delta V1 + \max\ of\ (\Delta V2\ ,\Delta V3\ ,\Delta V4) \quad 4-8$$



شكل 4-8

أى أننا نأخذ أقصى قيمة لـ ΔV على الكابلات المتوازية ثم تجمع مع $\Delta V1$ الخاصة بالمحول لوجودها على التوالى معها.

4-6 الاختبار الثالث: تحمل أقصى تيار قصر متوقع

فى هذا الاختبار نختبر قدرة الكابل على تحمل التيارات العالية جدا التى تمر لمدة وجيزة أثناء الأعطال، وهذه المدة الوجيزة تمثل فى الواقع المدة التى سيستغرقها الـ CB لفصل تيار العطل فى الدائرة الحقيقية. ومن ثم يجب التأكد من أن الكابلات ستتحمل مرور هذا التيار طوال هذه المدة الوجيزة.

والمعلومات التى نحتاجها لإجراء هذا الاختبار هى:

1. قيمة أقصى تيار قصر (Short Circuit Current) متوقع. وهذه القيمة تحسب من دراسة خاصة تعرف بـ Short Circuit Study، وسنشير إليها لاحقا.
2. القيمة القصوى التى يمكن أن يتحملها الكابل أثناء القصر. وبالطبع يجب أن تكون هذه القيمة أعلى من القيمة الواردة فى البند السابق (أقصى قصر متوقع).
3. زمن الفصل Trip Time للـ CB المستخدم. ونحصل على هذه القيمة من كتالوج الـ CB المستخدم. ويجب بأى حال أن لا يزيد عن ثانية واحدة لخطورة ذلك على بقية مكونات الشبكة.

و يمكن أن نحصل على القيمة القصوى التى يتحملها الكابل أثناء القصر بإحدى الطرق:

- إما من خلال الجداول الخاصة التي تقدمها شركات الكابلات.
- أو المنحنيات الخاصة بشركات الكابلات.
- أو من خلال الحسابات التقريبية (تختلف من شركة لأخرى).

4-6-1 التأكد من تحمل تيارات القصر باستخدام الجداول

يمكن أن نستخدم مباشرة الجدول 4-14 لاختبار قدرة الكابل على تحمل تيارات القصر، كما فى الأمثلة التالية.

مثال 4-12:

اختبر قدرة تحمل كابل $XLPE\ 70\ mm^2$ على تحمل تيار قصر متوقع قدره 16 kA، علما بأن الـ CB بالدائرة له زمن فصل قدره نصف ثانية.

الحل:

من الجدول 4-14 نجد أن الكابل $70\ mm^2$ يمكنه أن يتحمل تيار قصر قدره 14.2 kA لمدة نصف ثانية، وحيث أن تيار القصر المتوقع هو 16kA ومن ثم فهذا الكابل غير مناسب ونحتاج إلى كابل بديل مقطعه على الأقل $95mm^2$، أو يمكن تغيير الـ CB ليصبح زمن فصله 0.3 ثانية.

جدول 4-14: العلاقة بين تيار القصر ومقطع الكابل وزمن الفصل

kA short circuit current - Copper conductor - XLPE insulated

C.S.A. mm^2	Duration sec.									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
16	7.2	5.1	4.2	3.6	3.2	2.3	1.6	1.3	1.1	1.02
25	11.3	8.0	6.5	5.7	5.1	3.6	2.5	2.1	1.8	1.6
35	15.8	11.2	9.1	7.9	7.1	5.0	3.5	2.9	2.5	2.24
50	22.6	16.0	13.1	11.3	10.1	7.2	5.1	4.1	3.6	3.2
70	31.7	22.4	18.3	15.8	14.2	10.0	7.1	5.8	5.0	4.5
95	43.0	30.4	24.8	21.5	19.2	13.6	9.6	7.8	6.8	6.1
120	54.3	38.4	31.3	27.1	24.3	17.2	12.1	9.9	8.6	7.7
150	67.8	48.0	39.2	33.9	30.3	21.5	15.2	12.4	10.7	9.6
185	83.7	59.2	48.3	41.8	37.4	26.5	18.7	15.3	13.2	11.8
240	108.5	76.7	62.7	54.3	48.5	34.3	24.3	19.8	17.2	15.3
300	135.7	95.9	78.3	67.8	60.7	42.9	30.3	24.8	21.5	19.2
400	180.9	127.9	104.4	90.4	80.9	57.2	40.4	33.0	28.6	25.6
500	226.1	159.9	130.5	113.1	101.1	71.5	50.6	41.3	35.8	32.0
630	284.9	201.4	164.5	142.4	127.4	90.1	63.7	52.0	45.0	40.3
800	361.8	255.8	208.9	180.9	161.8	114.4	80.9	66.0	57.2	51.2
1000	452.2	319.8	261.1	226.1	202.2	143.0	101.1	82.6	71.5	64.0
1200	542.6	383.7	313.3	271.3	242.7	171.6	121.3	99.1	85.8	76.7

مثال 4-13

اختر الكابل النحاسى المناسب القادر على تحمل تيار قصر قدره 20kA يمر فى دائرة محمية بالـ CB زمن فصله هو 0.5 ثانية.

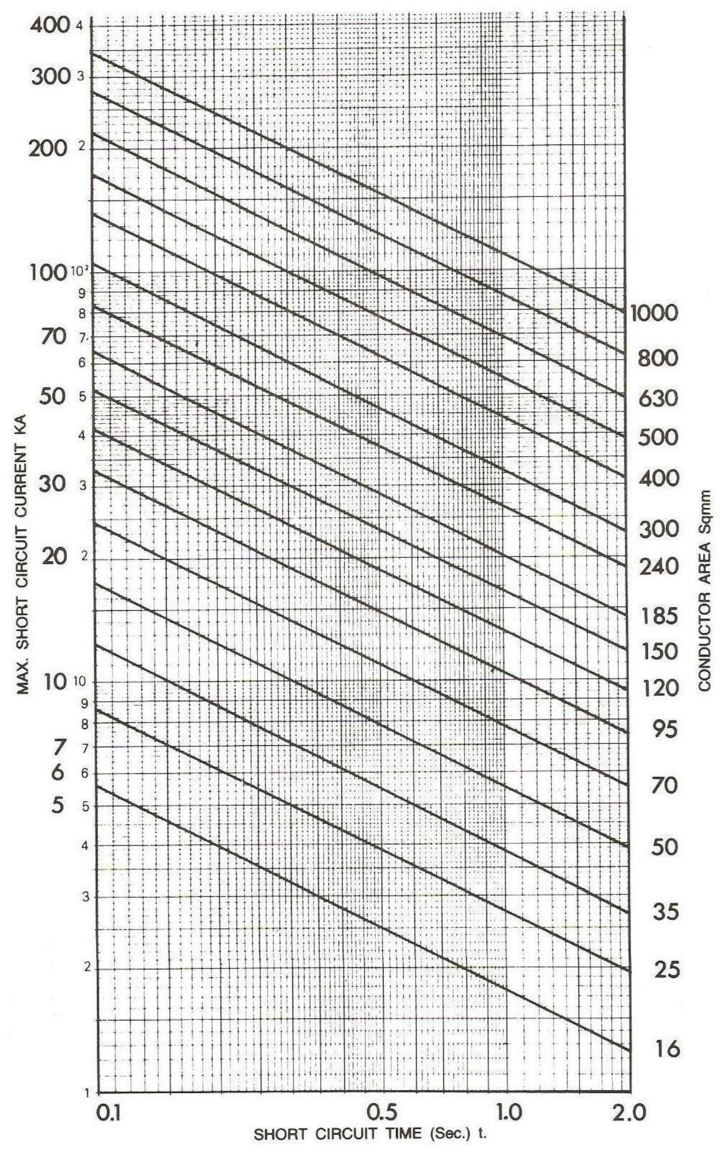
الحل:

من الجدول 4-14 وبالنظر رأسيا فى العمود الخاص بالزمن 0.5 نجد أن أقرب كابل له تيار قصــــر أعلى من 20kA هي 24.3 kA، و هي القيمة المقابلة لكابل مقطعه $120\ mm^2$ وهذا يعنى أنه أقل مقطع مناسب.

4-6-2 التأكد من تحمل تيارات القصر باستخدام المنحنيات

يمكن أيضا حساب أقصى تيار قصر يتحمله الموصل من المنحنيات التى تقدمها الشركة المنتجة للكابلات مثل المنحنى الخاص بكابلات النحاس الواردة فى شكل 4-9. لاحظ أننا إذا أردنا حل المثال السابق بطريقة المنحنيات فسنجد أن أقرب كابل لتقاطع 0.5 sec مع 20 kA هو الكابل الأعلى من $120\ mm^2$، وهو بالطبع الكابل $150\ mm^2$ (يتحمل حوالى 23 kA طبقا للمنحنى).

A - Conductor Area in Sqmm
t - Short Circuit Time in Sec.



شكل 4-9

4-6-3 التأكد من تحمل تيارات القصر باستخدام الحسابات التقريبية

فى الطريقة الثانية يمكن الوصول لأقصى تيار قصر يتحمله كابل معين بدلالة مساحة مقطع الكابل (a) كما فى المعادلات التالية:

1- بالنسبة للموصلات النحاسية التى تتحمل درجة حرارة حتى 90 درجة:

$$a(mm^2) = 9\sqrt{t}\, I_{SC} \qquad 4\text{-}9$$

2- بالنسبة للموصلات الألومنيوم التى تتحمل درجة حرارة حتى 90 درجة:

$$a(mm^2) = 14.2\sqrt{t}\, I_{SC} \qquad 4\text{-}10$$

مع ملاحظة أن التيار فى المعادلتين محسوب بوحدات الـ kA وليس بالأمبير، وأن t هى زمن فصل الـ CB بالثانية.

مثال 4-14

استخدم المعادلات السابقة لاختيار مقطع مناسب لكابل نحاس يمر به تيار قصر قدره 20kA، فى دائرة محمية بـ CB زمن فصله هو 0.5 ثانية.

الحل:

من المعادلة 4-9 نجد أن

$$a(mm^2) = 9\sqrt{0.5} \times 20 = 127 mm^2$$

وأقرب مقطع قياسي لهذه القيمة هو $150\ mm^2$.

لاحظ فى حالة وجود اختلاف بين الطرق الثلاثة، فالأفضل أن نأخذ المقطع الأعلى منهم.

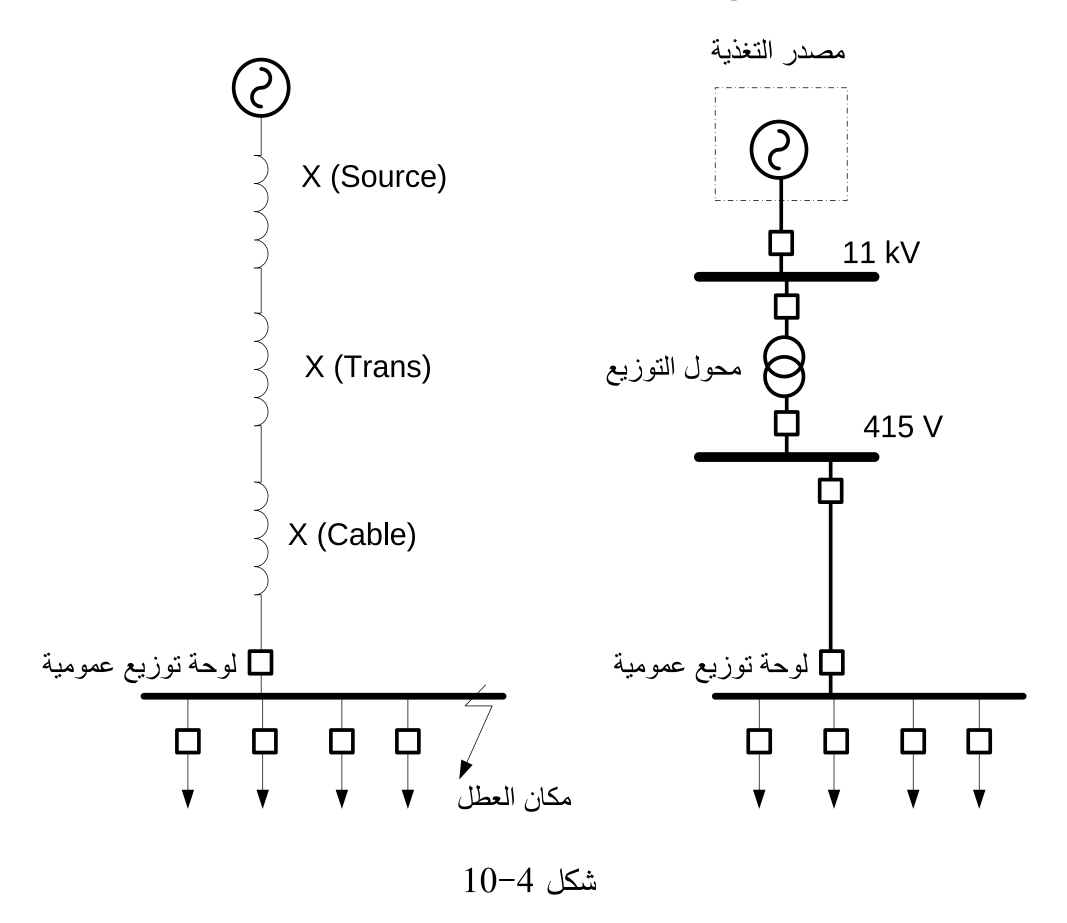
4-7 حسابات القصر SHORT CIRCUIT CALCULATIONS

من المعلوم أن القانون الأساسي المستخدم لحساب تيار القصر المتوقع هو قانون أوم ($I_{S.C} = V/Z_{S.C}$)، وبالطبع فقيمة الجهد (V) معلومة، ونحن نحتاج فقط إلى معرفة قيمة الـ Impedance، $Z_{s.c}$ من أجل حساب قيمة تيار القصر $I_{s.c}$. وبما أن الهدف هو حساب قيمة تيار القصر عند نقطة محددة فى لوحة توزيع المبنى فإننا يجب أن نحسب أولا قيمة الـ Impedances الكلية التى مر خلالها هذا التيار (Z_{SC}) والتى

تحسب من نقطة خروج التيار من محطة التوليد مرورا بمحطة المحولات والكابلات حتى يصل لنقطة العطل المفترضة، وبعدها نطبق قانون أوم لحساب التيار.

وفى شكل 4-10 إحدى الشبكات التقليدية البسيطة لمنظومة توزيع القوى، لكنها فى نفس الوقت تعتبر الأكثر انتشارا فى التمديدات الكهربية، حيث تتكون المنظومة من مصدر تغذية Generating Station يليها محطة محول التوزيع Distribution Transformer ثم مجموعة من الكابلات التى ينتهى كل منهم بـ Load يمثله هنا لوحات التوزيع العمومية للمبنى.

وهى منظومة بسيطة لعدم وجود أكثر من مصدر تغذية أو لعدم ارتباطها بشبكات حلقية، فالأمر هنا لا يعدو أكثر من مجموعة من الـ Impedances متصلة على التوالى. ويمثل الجزء الأيسر فى شكل 4-10 الدائرة المكافئة لهذه الشبكة، حيث تم استبدال كل عنصر فى الشبكة بقيمة الـ Impedance المكافئة الخاصة به. وللتبسيط، فقد أهملنا قيمة الـ R فى كل الـ Impedances.



شكل 4-10

4-7-1 حساب الـ X الخاصة بكل عنصر من عناصر الشبكة

و سنبدأ بمراجعة كيفية حساب المعاوقة (Impedance) الخاصة بكل عنصر فى الشبكة على حدة وذلك تمهيدا لحساب قيمة تيار القصر.

1- حساب قيمة X_S للمصدر (Reactance)

من المعلوم إنه عند حدوث عطل فإنه يتغذى من كافة المولدات القريبة منه، والتى تتصل بمحولات التوزيع من خلال محولات الرفع ثم خطوط النقل. وفى حالة حسابات الـ Short Circuits فإننا نتخيل أن كل هذه العناصـــر قد أدغمت فى عنصـــر واحد هو مصـــدر التغذية كما هو واضـــح فى شـــكل 4-10، بمعنى أن معاوقة مصدر التغذية فى الشكل X_{source} (يرمز لها بـــ X_s) ليست خاصة بمولد بعينه، وإنما هى المعاوقة المكافئة Equivalent Reactance لمجموعة مولدات، وســـنفترض أن هذا المولد المكافئ قادر على تغذية قدرة قدرها MVA_{SC} أثناء حدوث العطل.

و هذه القيمة الأخيرة (الـــــــ MVA_{SC}) يمكن الحصول عليها من مؤسسة الكهرباء التى يقع المبنى فى حدودها، و تختلف قيمتها من منطقة لأخرى حســـب قرب المبنى أو بعده من مصـــادر التغذية الحقيقية، وغالبا فى الكويت تقدر تقريبا بحوالى 300MVA فى شبكة الــــــ 11kV، وفى مصر تؤخذ بين 500 و 600 MVA.

أما القيمة المستخدمة فى شبكة الـ 415 فولت، أى إذا لم يكن لديك محول، فهى فى الكويت تساوى حسب المواصـــفات 31MVA، ويمكن أن تؤخذ فى مصـــر بقيمة تقريبية حوالى 60 MVA، وكل هذه القيم قابلة للتغيير حسب الموقع الجغرافى.

ثم يتم حساب قيمة X_S المكافئة بدلالة قيمة MVA_{SC} الخاصة بهذه لمنطقة وذلك من المعادلة 4-11:

$$X_S = \frac{kV^2}{MVA_{SC}} \quad 4-11$$

حيث kV هو قيمة الـ Line Voltage الذى وقع العطل فى منطقته.

وهناك صيغة أخرى للمعادلة السابقة 4-11 حيث تكتب على الصورة التالية في معادلة 4-12:

$$X_S = \frac{3kV_{Ph-max}^2}{MVA_{SC}} \quad 4-12$$

وهذا يعنى أن الجهد المستخدم هو الـ Phase Voltage سيكون مضروبا فى 1.05 ($V_{Ph-max}=1.05xV_{Ph}$)، وهى صيغة أكثر أمانا ولا علاقة لها بالصيغة المعروفة في الـ Sin Wave Relations.

لاحظ أنه إذا كان مصدر التغذية قريب جدا من المبنى فيمكن اعتبار أن المصدر المكافئ هو Infinite Bus بمعنى أن قدرته لا نهائية ومن ثم فقيمة X_s حينئذ تساوى صفر وتمثل بخط فقط (Short) (بمعنى آخر أن إهمال قيمة X_S هو من باب حسابات أكثر أمانا ولكن أقل في الدقة).

وتستخدم القيم التالية جدول 4-15 مع سعات القصر الأكثر تداولا فى الكود المصرى:

جدول 4-15: قيم ال X_s عند سعات القصر الأكثر تداولا

S.C. MVA	R_s	X_s
250	0.095	0.633
350	0.0675	0.4515
500	0.047	0.316

2- حساب قيمة معاوقة المحول

فى حالة المحولات فإننا نهمل دائما مقاومة المحول، وتبقى فقط المركبة الحثية (X_T). وتتوقف قيمة الـ X_T لمحول التوزيع على قدرة هذا المحول، وغالبا تكون هذه القيمة مكتوبة على لوحة المعلومات المثبتة على جسم المحول Name Plate، أو يمكن استخدام قيم تقريبية كالآتى (تختلف بالطبع حسب المصنع):

- المحولات حتى 1MVA يمكن اعتبار X_T تساوى 4%.
- المحولات حتى 10MVA يمكن اعتبار X_T تساوى 5%.

وأحيانا تعطى القيمة العددية لمعاوقة المحول ضمن بطاقة بيانات المحول فى صورة نسبة هبوط الجهد على المعاوقة عند الحمل الكامل إلى الجهد المقنن Rated Voltage ناحية الجهد المنخفض $U_{s.c}$ وتتراوح قيمتها عادة بين 0.04، 0.07 طبقا للحمل المقنن للمحول.

هذا ويعطى الكود المصـــرى فى الجدول رقم (9/6) فى المجلد الثاني قيما اســترشــادية لمركبتى المقاومة والممانعة المكافئتين للمحول بالمللى أوم محولتين إلى ناحية الجهد المنخفض، ويمكن اســـتعمال هذه القيم إذا خلت لوحة بيانات المحول من قيمة الـــــ X_T المكافئة. وفيما يلى الجدول 4-16 الذى يعطى بيانات لبعض المحولات التى يكثر استعمالها.

جدول 4-16: معاملات بعض المحولات التي يكثر استعمالها

قدرة المحول (kVA)	هبوط الجهد (Us.c)	المقاومة المكافئة (Rs.c) (مللى أوم)	الممانعة المكافئة (Xs.c) (مللى أوم)	المعاوقة المكافئة (Zs.c) (مللى أوم)
50	0.04	70.3	107	128
100	0.04	28	57.5	64
250	0.04	8.3	24.2	25.6
500	0.04	3.52	12.3	12.8
800	0.045	2.55	8.63	9
1000	0.05	1.94	7.76	8

وفى حالة وجود عدد من المحولات (N) مركبة على التوازى تكون القيمة الإجمالية المكافئة لهم تساوى (X_T/N).

3- حساب قيمة معاوقة الكابلات

يمكن الحصول مباشرة على قيم الـــــــ (R و X) الخاصة بالكابل من جداول الكابلات، أو باستخدام أى معادلات تقريبية. و تتميز كابلات الجهد المنخفض بأن مقاومتها Resistance أكبر من ممانعتها Reactance بحيث تهمل عادة الـــ Reactance مقارنة بالمقاومة فى حالات كابلات الجهد المنخفض ذات الموصلات بمقطع أقل من 25 مم^2، فى حين تؤخذ قيمة الـ Reactance فى حدود 0.07 مللى أوم بين الـــ Phase & Neutral لكل متر طولى في الكابلات من النوع الـــ (3-Phase)، وتؤخذ فى حدود

0.15 مللى أوم بين موصلى الكابل الـ Single phase لكل متر طولى من الكابل. وتحسب قيمة مقاومة الموصلات بالمللى أوم لكل متر طولى من المعادلة 4-13.

$$R_{eq} = \rho / A \qquad 4-13$$

حيث:

A هى مساحة مقطع الكابل الإسمية (mm^2)

ρ هى المقاومة النوعية للمادة المصنوع منها الموصل، وتؤخذ قيمتها عندما تكون درجة حرارة الموصل 70 درجة مئوية كما يلى:

- للنحاس تساوى 21 مللى أوم. مم^2 للمتر الطولى من الموصل.
- وللألومنيوم تساوى 33 مللى أوم. مم^2 للمتر الطولى من الموصل.

أما قضبان التوزيع الجاهزة Bus Duct والتى تستعمل أحياناً للتوصيل بدلا من الكابلات (وعلى الأخص فى دائرة التغذية الرئيسية العليا عند الخروج من محول تغذية الجهد المنخفض)، كما تستعمل أيضا فى صواعد Risers الأدوار العليا فى المبنى فيمكن عادة إهمال مقاومتها فيما عدا ذوات المقطع الصغير. وتؤخذ الـ Phase reactance لهذه القضبان مساوية للقيمة 0.15 مللى أوم لكل متر طولى.

مثال 4-15

يبين شكل 4-11 جزءاً من شبكة توزيع الجهد المنخفض داخل أحد المصانع من لوحة التوزيع الرئيسية (لوحة-أ) للجهد المنخفض إلى أحد مباني المصنع (لوحة- ب)، ثم إلى قسم من أقسام هذا المبنى حيث تغذى بعض الأحمال المبينة فى الرسم (لوحة ج و د)، كما يبين الرسم تغذية استراحة سكنية من ثلاثة أدوار فى المصنع. والمطلوب حساب قيم تيارات القصر عند لوحات التوزيع المختلفة فى المصنع، علما بأن الدائرة المكافئة لتغذية المصنع من مصدر الجهد المتوسط إلى محول تغذية الجهد المنخفض ثم التوصيلة إلى لوحة التوزيع الرئيسية للجهد المنخفض يمكن تمثيلها بممانعة مكافئة X_{eq} قيمتها mΩ 10، ومقاومة مكافئة يمكن إهمالها.

الحل:

$X_{source} = X_{eq} = 10\ m\Omega$

(1) بداية يمكن حساب تيار القصر على قضبان توزيع اللوحة الرئيسية للجهد المنخفض كما يلى:

$X_{eq} = Z_{s-eq}$ نظرا لإهمال المقاومة المكافئة.

وبالتالى تكون قيمة تيار القصر عند القضبان الرئيسية يساوى

$$I_{sc} = \frac{1.05 \times 220}{X_{eq}}$$

$$I_{sc} = \frac{1.05 \times 220}{10} = 23.1\ kA$$

وتكون أقرب سعة قصر قياسية للقواطع على قضبان توزيع هذه اللوحة الرئيسية 32 ك أمبير.

(2) معاملات الكابل الألومنيوم من اللوحة الرئيسية "أ" إلى اللوحة "ب" بطول 45 متر وموصلات مقطعها $3 \times 150 + 70$ مم^2. ويلاحظ أن موصل التعادل (Neutral Wire) يؤثر فقط في حالة حدوث (phase to ground) ولا يدخل فى حسابات تيار القصر في حالة Phase to phase.

مقاومة الكابل = $150 \div (33 \times 45) = 9.9\ m\Omega$

ممانعة الكابل = $0.15 \times 45 = 6.75\ m\Omega$

تذكر أن ρ تساوى $33\ m\Omega.mm^2$ لكل متر طولى للألومنيوم

وبإضافة X_{CB} المقدرة بـ $0.15\ m\Omega$ تكون

$$Z_T = (9.9) + j\,(10+6.75+0.15) = 9.9+j\,16.9 = 19.5\ m\Omega$$

وبالتالى تكون قيمة تيار القصر على قضبان توزيع اللوحة "ب" =

$$I_{sc} = \frac{1.05 \times 220}{19.5} = 11.8\ kA$$

وبذلك نختار سعة القطع القياسية لكل القواطع فى اللوحة "ب" = 16 ك أمبير.

(3) معاملات الكابل النحاسى من اللوحة "ب" إلى اللوحة "ج" بطول 15 متر ومقطع موصلات 3 × 70 + 35 مم[2]

مقاومة الكابل النحاسي = (21 × 15) ÷ 70 = 4.5 mΩ

ممانعة الكابل النحاسي = 15 × 0.15 = 2.25 mΩ

وبإضافة X_{CB} الرئيسي للوحة "ج" = 0.15 mΩ

Z_T = (9.9+4.5) + j (10+6.75+0.15+2.25+0.15) = 14.4+j 19.3 = 24.1 mΩ

وبالتالى تكون قيمة تيار القصر على قضبان توزيع اللوحة "ج" =

$$I_{sc} = \frac{1.05 \times 220}{24.1} = 9.6\ kA$$

وبذلك نختار سعة القطع المقننة لكل القواطع فى اللوحة "ج" = 16 ك أمبير.

(4) معاملات الكابل النحاسى من اللوحة "ج" إلى اللوحة "د" بطول 10 متر ومقطع موصلات 3 × 25 مم[2]

مقاومة الكابل = (21 × 10) ÷ 25 = 8.4 mΩ

ممانعة الكابل = 10 × 0.15 = 1.5 mΩ

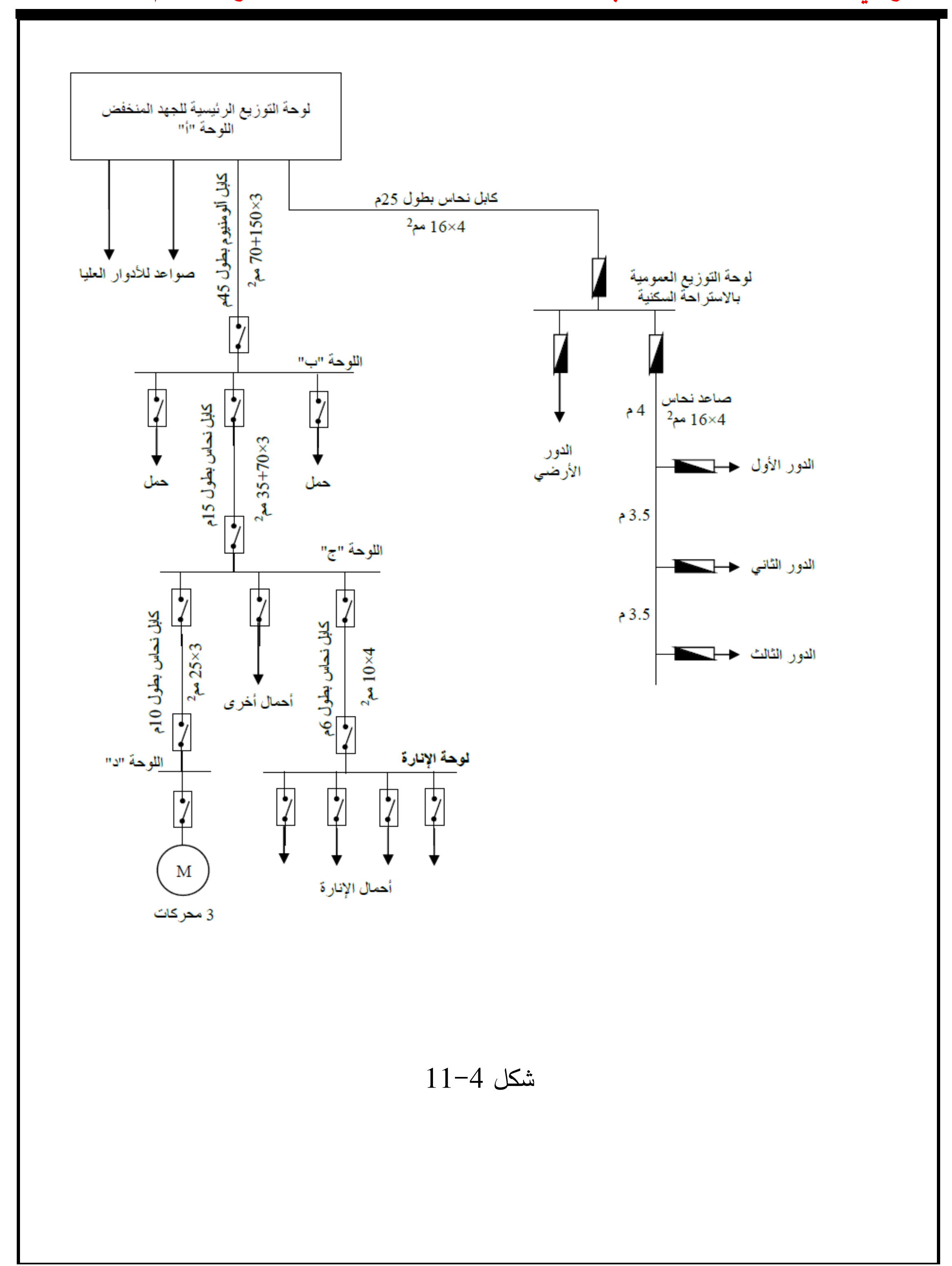
وبإضافة ممانعة قاطع تشغيل المحرك = 0.15 mΩ تكون

Z_T = (9.9+4.5+8.4) + j (10+6.75+0.15+2.25+0.15+1.5+0.15) = 22.8+j 20.9 = 30.9 mΩ

وبالتالى تكون قيمة تيار القصر على قضبان اللوحة "د" =

$$I_{sc} = \frac{1.05 \times 220}{30.9} = 7.4 \text{ kA}$$

وعادة تكون مقننات قاطع تشغيل المحرك محددة من قبل صانع المحرك ولكن يجب ألا تقل سعة القطع المقننة لهذا القاطع عن 10 ك أمبير نظراً لأنه عند حدوث قصـــر في دائرة تغذية أحد المحركات فإن بقية المحركات التي تعمل تساهم في زيادة تيار هذا القصر.


لوحة التوزيع الرئيسية للجهد المنخفض
اللوحة "أ"
صواعد للأدوار العليا
كبل ألومنيوم بطول 45م
3×150+70 مم2
كابل نحاس بطول 25م
4×16 مم2
لوحة التوزيع العمومية
بالاستراحة السكنية
اللوحة "ب"
حمل
حمل
كبل نحاس بطول 15م
3×70+35 مم2
صاعد نحاس
4×16 مم2
4 م
الدور
الأرضي
الدور الأول
3.5 م
الدور الثاني
3.5 م
الدور الثالث
اللوحة "ج"
كبل نحاس بطول 10م
3×25 مم2
أحمال أخرى
كبل نحاس بطول 6م
4×10 مم2
لوحة الإنارة
اللوحة "د"
M
3 محركات
أحمال الإنارة

شكل 4-11

4-7-2 طريقة MVA Method

لاحظ فى المثال السابق أن تيار الـ .S.C المتوقع مروره قد حسب بقانون أوم أى بدلالة الجهد والمعاوقة، **والواقع أن** هناك عدة طرق أخرى لعمل هذه الحسابات سنعرض هنا لطريقة مبسطة وسريعة تسمى MVA-Method، و هذه الطريقة وإن كانت غير مشهورة لكنها سهلة وسريعة، و سنعرضها هنا خطواتها بالترتيب.

الخطوة الأولى

الخطوة الأولى فى هذه الطريقة هو حساب قيمة M لكل عنصر من عناصر الشبكة كما يلى:

بالنسبة للمولدات– المحولات– المحركات:

نظرا لأن هذه العناصر تكون قدرتها المقننة (Rated power) تكون دائما معروفة، كما أنه يمكن من لوحة بيانات هذه العناصر معرفة X_{pu}، وبالتالى فإن المعادلة التالية 4-14 تكون مناسبة لحساب M الخاصة بهذه العناصر

$$M(gen, motor, transf) = \frac{MVA_{raterd}}{X_{p.u}} \quad 4-14$$

بالنسبة للكابلات:

فى الغالب تكون المعلومات المعروفة للكابلات هى قيم المقاومة بالأوم، ولذلك فمن المناسب استخدام المعادلة التالية 4-15 لحساب قيمة M الخاصة بالكابلات:

$$M_{cable} = \frac{(KV_L)^2}{|Z_C| \ (\Omega)} \quad 4-15$$

الخطوة الثانية

وفى الخطوة التالية يتم حساب القيمة المكافئة لقيم M على النحو التالى:

1. القيمة المكافئة لمجموعة من الـM موصلة على التوازى تحسب وكإنهم متصلين على التوالى (بمعنى أن M المحصلة لهم تكون المجموع الجبرى لهم).
2. قيم المM الموصلة على التوالي تعامل كما لو كانوا موصلين على التوازى.

$$M = \frac{M_1 \times M_2}{M_1 + M_2}$$

الخطوة الثالثة

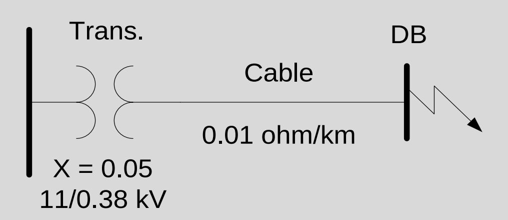
تطبق القاعدة الســـابقة بدءا من مصـــادر تغذية الأعطال Generators and Motors باتجاه نقطة العطل، حتى نصل فى النهاية إلى نقطة العطل، وعندها ستكون المفاجأة السعيدة وهى أن قيمة M المكافئة التى دخلت إلى نقطة العطل هى نفســـها $MVA_{s.c}$ التى نبحث عنها، ويكون تيار العطل الذى نحث عنه $I_{s.c}$ يساوى

$$I_{SC} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3}(kV)} \quad 4-16$$

حيث أن kV هو جهد المنطقة التى بها العطل.

مثال 4-16

فى شكل 4-12، إحسب بطريقة الـ MVA_method قيمة تيار القصر المتوقع عند لوحة التوزيع DB التى تبعد 200 متر عن محول بقدرة 5 MVA.



شكل 4-12

الحل:

فى البداية يجب أن نفرض قيمة مستوى القصر للشبكة (MVA_Source) وقد فرضناها هنا تساوى 300 MVA، وبالطبع يمكن أن تكون أى قيمة أخرى حسب مستوى القصر المعتمد من قبل مؤسسة الكهرباء التى تقع هذه الشبكة فى نطاقها.

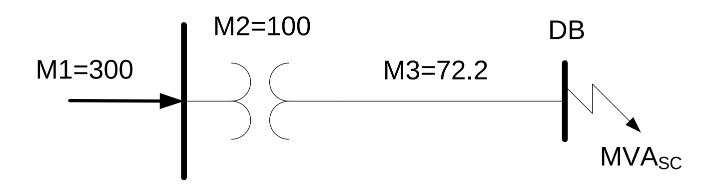
ثم نبدأ بوضع قيم الـ M المناسبة لكل عنصر كما يلى:

M1 = M_source= 300 MVA.

M2 = M_transformer = 5/0.05 = 100 MVA.

$$M3 = M_cable = \frac{(KV)^2}{X_c(\Omega)} = \frac{0.38^2}{0.01 \times 0.200} = 72.2MVA$$

وبالتالى يمكن رسم الدائرة ممثلة بالـ M فقط كما فى شكل 4-13:



شكل 4-13

طبقا للقاعدة الموضحة فى الخطوة الثانية، وحيث أن جميع قيم M هنا موصلة على التوالى فإن قيمة الـ M المكافئة تحسب كما لو كانوا موصلين جميعا على التوازى.

$$\frac{1}{M_{eq}} = \frac{1}{M1} + \frac{1}{M2} + \frac{1}{M3} \Rightarrow M_{eq} = 36.5 \text{ MVA} = \text{MVA}_{SC}$$

$$I_{SC} = \frac{36.5}{\sqrt{3} \times 0.38} = 55kA$$

مثال شامل

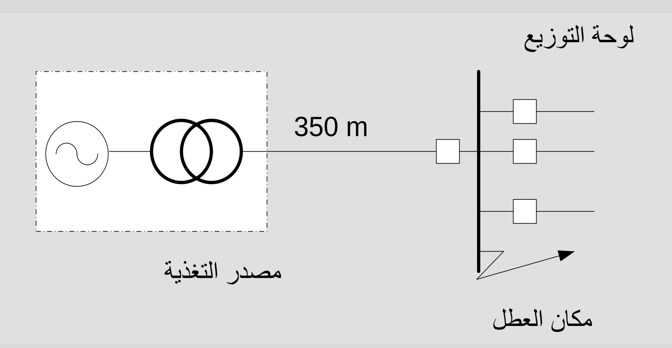
إحسب المقطع المناسب لكابل يغذى لوحة توزيع مجموع أحمالها تساوى 1MVA، وتبعد عن محول التوزيع مسافة 350 متر كما فى شكل 4-14. علما بأن:

$MVA_{base} = 1\ MVA$

$MVA_{Source} = 500\ MVA\ \&\ X_T = 0.05\ p.u$

$Z_{Cable} = 0.014\ \Omega$

اعتبر أن جهد التشغيل 380 فولت، وأن الكابلات الـ PVC المتاحة هى كابلات نحاسية مقطعها 240 mm^2 (360A)ِ وإنه سيتم تمديدها فوق حوامل للكابلات فى درجة حرارة تصل إلى 50 درجة مئوية.



شكل 4-14

الحل:

تيار الـ Load =

$$I_L = \frac{1000,000}{\sqrt{3} \times 380} = 1500\,A$$

وعلى اعتبار أن تحمل الكابل ($240mm^2$) فى المواسير يساوى 360 أمبير، وهذا يعنى أننا بحاجة إلى عدد من الكابلات على التوازى، وعددهم يساوى

$$No.\,Cables = \frac{1500}{360} \approx 5 \quad cables$$

وبالتالى، فالتيار المار فى كل كابل من هذه الكابلات الخمسة سيكون 300 أمبير فقط حيث التيار الكلي يساوى (1500 A).

كل الحسابات السابقة هى حسابات أولية، وللأسف يكتفى بها بعض المقاولين فى تنفيذ أعمالهم، وهى بالتأكيد لا تصلح أن يكتفى بها أى مصمم محترف، بل يجب عليه إجراء الاختبارات الثلاثة التى أشرنا إليها سابقا، وهى:

1-اختبار التحمل الحرارى

بما أن لدينا خمسة كابلات متجاورة على حامل للكابلات أفقيا فيجب استخدام معامل لتصحيح قيمة التحميل من الجدول 4-11، وهو فى هذه الحالة يساوى 0.75، كما أن معامل تصحيح درجة الحرارة من الجدول 4-7 يساوى 0.76، ومن ثم **فالحمل الحرارى لكل كابل يجب ألا يزيد عن**

$$360 \times 0.76 \times 0.75 = 205\ A$$

وحيث أن كل كابل طبقا للتصميم الأولى سيمر به 300 أمبير، إذن فالاختيار خاطئ ويجب زيادة عدد الكابلات إلى 8 كابلات– مثلا- بدلا من 5 كابلات.

وفى هذه الحالة فالتحمل الحرارى Thermal Rating الجديد لكل كابل يساوى طبقا للمعامل الجديد لعدد الكابلات المتجاورة (0.72 بدلا من 0.75) سيساوى:

$$360 \times 0.75 \times 0.72 = 195A$$

وفى حالة وجود 8 كابلات فكل كابل من الكابلات الثمانية سيمر به جزء من التيار الكلى يساوى فى هذه الحالة (1500 / 8) أى حوالى 187 أمبير، وهو أقل من الـ Thermal Rating الجديد (195A)، ومن ثم يمكن أن نقول أن الكابل اجتاز الاختبار الأول، وهو اختبار التحمل الحرارى.

2- اختبار الهبوط فى الجهد

يجب فى المرحلة التالية اختبار أقصى هبوط فى الجهد على طرف الكابل، والتى يجب ألا تزيد عن 3% في معظم الأكواد. ومن الجدول 4-13 نجد أن الهبوط فى الجهد فى الكابلات مقطع $240mm^2$ يساوى 0.204 مللى فولت لكل متر لكل أمبير. وهذا يعنى أن إجمالي الهبوط فى الجهد فى نهاية الـ 350 متر نتيجة مرور تيار قدره 187 أمبير فى كل كابل من الثمانية المتوازية يساوى:

$$0.204 \times 10^{-3} \times 187 \times 350 = 13.3 \text{ Volt}$$

وبالتالى فنسبة الهبوط فى الجهد تساوى

$$13.31/380 = 3.5\ \%$$

وهى أعلى من الـ 3% المسموح بها، وهذا يعنى أن الكابلات الثمانية المركبة على التوازى لم تجتز الاختبار الثاني.

ولتحديد العدد المناسب الجديد نطبق القاعدة:

العدد الجديد المناسب = العدد القديم x (نسبة الهبوط المرفوضة ÷ النسبة المطلوبة)

وبتطبيق هذه القاعدة

$$No.of\ \ Cables = 8\frac{3.5}{3} = 10\ cable$$

وللتأكد مرة أخرى من التحمل الحراري سنجده $360 \times 0.76 \times 0.7 = 191A$ وتيار الكابل الواحد سيكون $1500 \div 10 = 150\ A$، وهو بالطبع متحقق.

3- اختبار تحمل تيار القصر

1- حساب مستوى القصر عند لوحة التوزيع

الخطوة الأولى: إذا أردنا أن نحسب قيمة الـ Short circuit capacity (SCC) لقواطع اللوحة ففى هذه الحالة يجب أن نفترض أن العطل وقع على الـ Bus Bar الرئيسي للوحة العمومية لأن تيار العطل حينئذ سيكون أكبر ما يمكن، فإذا وقع العطل فى الواقع العملي عند أى نقطة أخرى أبعد من الـ BB، فبالتأكيد سيكون تيار القصر أقل مما قد تم حسابه، وهذا يعنى أننا نصمم على أسوأ الفروض.

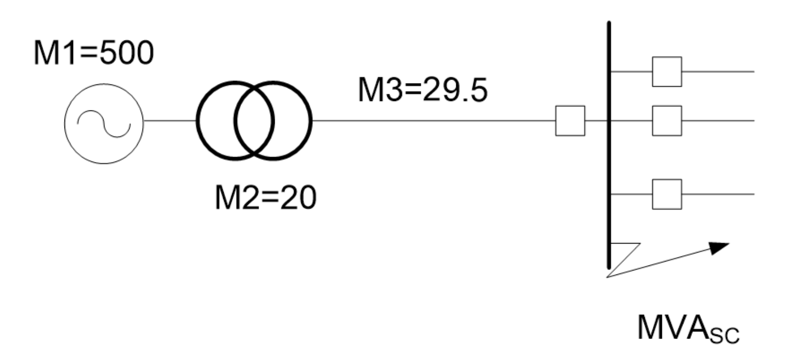
الخطوة الثانية: نحسب قيمة الـ M لكل عنصر بالدائرة:

M1 = M_source = 500 MVA.

M2 = M_transformer = 1/0.05 = 20 MVA.

$$M3 = M_cable = \frac{(KV)^2}{X_c(\Omega)} = \frac{0.38^2}{0.014 \times 0.350} = 29.5MVA$$

ثم نرسم الدائرة المكافئة للشبكة بدءا من مصدر التغذية وحتى موضع العطل، كما فى الشكل 4-15.



شكل 4-15 الدائرة المكافئة للشبكة

الخطوة الثالثة: نحسب قيمة الـM المكافئة بفرض حدوث العطل عند الـ BB الأخير. (جميعهم على التوالى فيحسب المكافئ لهم كما لو كانوا على التوازى)

M_{eq} = 11.64 MVA

تذكر أن M_{eq} هى نفسها M_{SC} التى نبحث عنها.

<u>الخطوة الرابعة</u>: حساب قيمة تيار القصر عند الـ CB (نهاية الكابل)

$$I_{SC} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3} \times kV_L} = \frac{11.46}{\sqrt{3} \times 0.38} = 17.4\ kA$$

ومن ثم فأقل قيمة للـ SCC لقواطع اللوحة هى 20 kA.

لاحظ أن حدوث قصر على الـــ BB لن يكون خطيرا على الكابلات الرئيسية الخارجة من المحول، لأن هذه القيمة ســتمر خلال 10 كابلات على التوازى، وبالتالى فكل كابل منهم ســيمر به تقريبا 1.7 kA، وهى قيمة صغيرة جدا بالنسبة لتحمل الكابل الذى تم اختياره <u>(240 mm^2)</u> لتيارات القصر.

حساب مستوى القصر للكابلات

إذا أردت أن تختبر تحمل الكابلات لتيار القصــر فيجب أن تفرض القصــر فى موضــع قريب من بداية الكابل (وليس عند نهايته) ومن ثم فأســوأ الاحتمالات أن يكون القصــر فى الأمتار الأولى بعد المحول (اهمل عندئذ معاوقة الكابل تماما) ويصــبح تيار القصــر خلال الكابل يســاوى حاصــل الضــرب على حاصل جمع الـــــ 500 MVA الخاصة بالمصدر، والـــ 20 MVA الخاصة بالمحول (نعتبرهم كأنهم توازى كما اتفقنا)

$$M_{SC} = \frac{500 \times 20}{520} = 19.23 MVA$$

وهذا يكافئ 29.2 kA

لاحظ أن هذه القيمة هى نفسها التى تحصل عليها عند أطراف المحول من القاعدة القديمة

$$I_{sc} = I_{rated} / X_{pu} = 1500/0.05 = 29.2\ kA$$

لاحظ هنا أن هذه القيمة لن تمر خلال العشر كابلات بل ستمر خلال الكابل الذى به الـــ Short فقط، و يمكن أن نختبر مدى تحمل الكابل الذى تم اختياره ($240\ mm^2$) لتحمل هذا التيار إما من خلال جدول 4-14، أو من خلال المعادلة 4-9.

لاحظ أنه لو كانت الكابلات طويلة فلربما احتجنا لوضـــع CB فى بداية كابلات أيضـــا لحمايتها وهذا ستكون قدرتها لا تقل عن $I_{sc\ making} = 2.1 \times 29.2 = 65kA$

فمن الجدول 4-14 نجد أن الكابل $240\ mm^2$ يمكن أن يتحمل حتى 39 kA لمدة نصف ثانية، وحيث أن أقصى قصر متوقع هو 29.2 kA، ومن ثم فقد اجتاز الكابل هذا الاختبار.

لاحظ أننا لو طبقنا المعادلة 4-9 فسنجد أن أقل مقطع لتحمل تيار القصر المتوقع هو

$$a\ (mm^2) = 9 \times \sqrt{2} \times 29.2 = 185\ mm^2$$

وهو بالتأكيد أقل من مقطع الكابل الذى تم اختياره ($240mm^2$)، وبالتالى فهذا يؤكد أن الكابلات تجاوزت هذا الاختبار بنجاح.

الفصل الخامس

تصميم لوحات وشبكات التوزيع الكهربية

5

الفصل الخامس

تصميم اللوحات وشبكات التوزيع الرئيسية

في الفصل السابق تعرفنا على القواعد اللازمة لتصميم دائرة فرعية Branch Circuit، وهى الدوائر المخصصة لتغذية حمل محدد سواء كان هذا الحمل من الأحمال الاستاتيكية أو الأحمال الديناميكية. وبالطبع فكل مجموعة من هذه الأحمال سيتم تغذيتها من لوحة توزيع فرعية Distribution Board، ثم يتم تغذية مجموعة اللوحات الفرعية من لوحة توزيع عمومية Switch Board، ولوحات التوزيع العمومية ستغذى في النهاية من محول التوزيع الرئيسي المتصل بشبكة الجهد المتوسط.

والمقصود بتصميم اللوحات – سواء اللوحات الفرعية أو اللوحات العمومية – هو اختيار الـ CB العمومي الخاص باللوحة، و اختيار مقطع الكابل العمومي الخاص باللوحة، بالإضافة إلى توزيع الأحمال داخل اللوحة بطريقة صحيحة. كما يدخل فى عملية التصميم أيضا دراسة أنسب الطرق لتغذية مجموعة اللوحات سواء العمومية أو الفرعية. وهذا ما سيتم التعرف عليه فى هذا الفصل.

وهذا الفصل مقسم إلى ثلاثة أجزاء:

فى الجزء الأول نتعرض لتفاصيل تصميم لوحات التوزيع الفرعية.

وفى الجزء الثاني يتم شرح طريقة حساب حمل اللوحة العمومية، بالإضافة إلى تقديم أمثلة عملية متنوعة من قبيل تصميم لوحة شقة سكنية، أو تصميم اللوحة العمومية لعمارة عادية، ثم مثال لتصميم اللوحة العمومية لبرج إدارى. وبالطبع فلن نستطيع أن نضع كافة التفاصيل الخاصة بهذه المشاريع، لكننا سنركز فى كل مشروع على حدة على جزئية هامة يتميز بها هذا المشروع عن غيره، فنقوم بشرحها تحديدا دون ذكر باقى التفصيلات لأن ذلك سيحتاج مئات الصفحات وليس كتاب واحد.

أما الجزء الثالث والأخير فمخصص لدراسة طرق ربط المشروع بشبكات التوزيع العمومية للدولة، وهناك مثال لتصميم اللوحات العمومية لمجموعة أبراج ثم مثال آخر لتصميم شبكة التغذية لمجموعة مصانع.

الجزء الأول : تصميم اللوحات الفرعية

5-1 قواعد عامة في تصميم اللوحات الفرعية

هناك قواعد عامة يجب إتباعها عند تجميع الدوائر الفرعية في لوحات التوزيع الفرعية، ومن هذه القواعد:

1. توزع أحمال الإنارة بالتساوى بين الـ 3-Phases.
2. فى لوحات الشقق السكنية الصغيرة تغذى أحمال التكييف مع أحمال الإنارة وأحمال المخارج العامة (General Use Outlets) من لوحة واحدة، وذلك بتقسيم اللوحة إلى قسمين: الأول هو الـــ Light Section، والثاني الـ Power Section.
3. تغذى اللوحة من كابل 3-Phase ما لم يكن الحمل الإجمالي أقل من 10 kVA.
4. فى حالة البيوت الكبيرة (خاصة فى منطقة الخليج حيث حمل المنزل يصل أحيانا إلى 100 kVA) أو فى المباني الإدارية فإنه يتم تجميع أحمال التكييف فى لوحة منفصلة عن بقية أحمال المنزل.
5. فى المشروعات الكبيرة والمتوسطة يتم فصل أحمال الإنارة Lighting عن أحمال المخارج العامة والسخانات والتى تسمى عادةً بأحمال القوى Power، و يُفصلا أيضا عن أحمال التكييف، وبالتالى يصبح لدينا ثلاثة أنواع من اللوحات : إنارة، وقوى، وتكييف (وهو تقسيم مفضل لكنه ليس إلزاميًا).
6. يفضل دائماً فى المباني الكبيرة الممتدة أفقياً والتى تتكون من أجزاء يفصل بينها فواصل تمدد، أن تختص كل لوحة أو عدد من لوحات التوزيع الفرعية بجزء من أجزاء المبنى وذلك لتقليل عبور التوصيلات والكابلات لفواصل التمدد إلى الحد الأدنى.
7. الدوائر الهامة فى كل نوع من أنواع اللوحات الثلاثة السابقة (وهى الدوائر التى تغذى أحمالا مهمة يتم تجميعها فى لوحات منفصلة تسمى **لوحات الطوارئ** Emergency Panels، والتى سيتم تغذيتها من خلال مولد ديزل.
8. يجب ألّا تقل قدرة المغذى العمومى للوحة شقة مثلًا عن الحمل المحسوب طبقا لقواعد W/m^2 لهذه الشقة، وهى القواعد التى سبق الحديث عنها فى الفصل الثالث.

9. لا يزيد عدد الدوائر الفرعية فى اللوحة الواحدة عن 36 دائرة (العدد يصـــل إلى 42 إذا أخذنا في الاعتبار عدد دوائر الـ Spare and Space) .

10. يجب تركيب عدد إضافي من الـ Spare CBs للتركيبات المستقبلية المغذاة من اللوحة.

11. يحسن أيضا ترك مساحة Space Only فى اللوحة تكون خالية (بدون أى CBs) لاستخدامها حين الحاجة لتركيب قيم أخرى مستقبليا.

12. يجب تأريض أجسام جميع لوحات التوزيع.

13. يجب ألا يقل البعد بين موصلات الـــ Phases بقضبان التوزيع فى اللوحات عن 2.54 سم كما يجب ألا تقل المسافة بينها وبين أى جزء مؤرض فى اللوحة عن 2.54 سم.

14. يجب أن يتم توزيع الأحمال على الأوجه الثلاثة (الـــــ 3- Phases) بحيث يكون بينهم - قدر الإمكان – أكبر قدر من التماثل Balanced Distribution. وربما تكون المحاولة الأولى لتوزيع الأحمال على الـ 3- Phases فاشلة، بمعنى أن حمل أحد الـ Phases يزيد كثيرا عن الآخرين، فعندها يعاد التوزيع بين الـ Phases بأن تنقل دائرة من الـ Phase الأعلى حملا إلى الـ Phase الأقل حملا، وهكذا حتى نصل إلى اتزان الأحمال أو ما يعرف بـ Phase Balance.

15. الأحمال التى يستحيل أن تعمل معا فى وقت واحد تركب على نفس الـ Phase. على سبيل المثال التكييف والمدفأة، ويؤخذ الأكبر منهما فقط فى حســـاب مجموع الأحمال عند حســـاب الحمل التصميمى للوحة (سنوضح ما هو الحمل التصميمي للوحة في النقطة 5-3).

16. الــــ CBs الكبيرة (الأعلى من 100A) تكون غالبا متاحة فى السـوق بميزة إضـافية وهى إمكانية الضـبط على قيمة أقل من القيمة العظمى. على سـبيل المثال الــــ CB المقنن على 100A يمكن ضبطه ليفصل عند Trip 63A أو 80A.

17. تسمى القيمة الاسمية للـ CB بـFrame Value (و هي أعلي قيمة للـ trip unit يمكن أن تستعمل في الــــ CB) بينما تسمى قيمة الضبط لنفس الــــ CB بــ Trip Value، فإذا اختلفت قيمة الضبط المســـتخدمة عن القيمة الاســـمية فإننا نكتب هذه المعلومات على صـــورة 100AF/80AT، أي Ampere Frame/Ampere Trip لينتبه المستخدم إلى أننا نحتاج لـ CB له قيمة اسمية تساوى 100A لكنه سيستخدم داخل هذه الدائرة مضبوطا على قيمة 80A فقط.

18. بعد توزيع الأحمال بالتساوى – قدر الإمكان – بين الـــ 3-Phases يتم اختيار الكابل الرئيسي المغذى للوحة، وكذلك اختيار الـــ CB الرئيسي لها طبقا لقيمة أعلى Phase Current فى الأوجه الثلاثة.
19. فى حالة اللوحات الكبيرة حيث التيار الكلي يكون عاليًا، وقد لا تجد كابلًا منفردًا يمكن أن يتحمل التيار العمومى للوحة، ففى هذه الحالة ســـيتم اختيار عدد من الكابلات المتوازية و كُلًا منهم ذو مقطع أصـــغر مما كان من المفترض أن يتكون منه الكابل العمومي منفردًا كبُدلاء عنه، مع تقريب الكســـر الذى ينتج من المعادلة (عدد الكابلات = التيار الكلى ÷ تيار الكابل) إلى **أقرب أعلى** رقم صحيح.
20. فى حالة استخدام كابلات موصلة على التوازى يجب أن تكون جميعا من نفس النوع ونفس المقطع.
21. يتم استخدام كابلات الـ Multi-core فقط حتى مقطع 240 ملم^2، وبعد ذلك يجب استخدام كابلات Single-core لضمان سهولة التعامل معها عند التمديد. الكابلات الـــ 300 mm^2 غير مفضلة لصعوبة تمديدها.

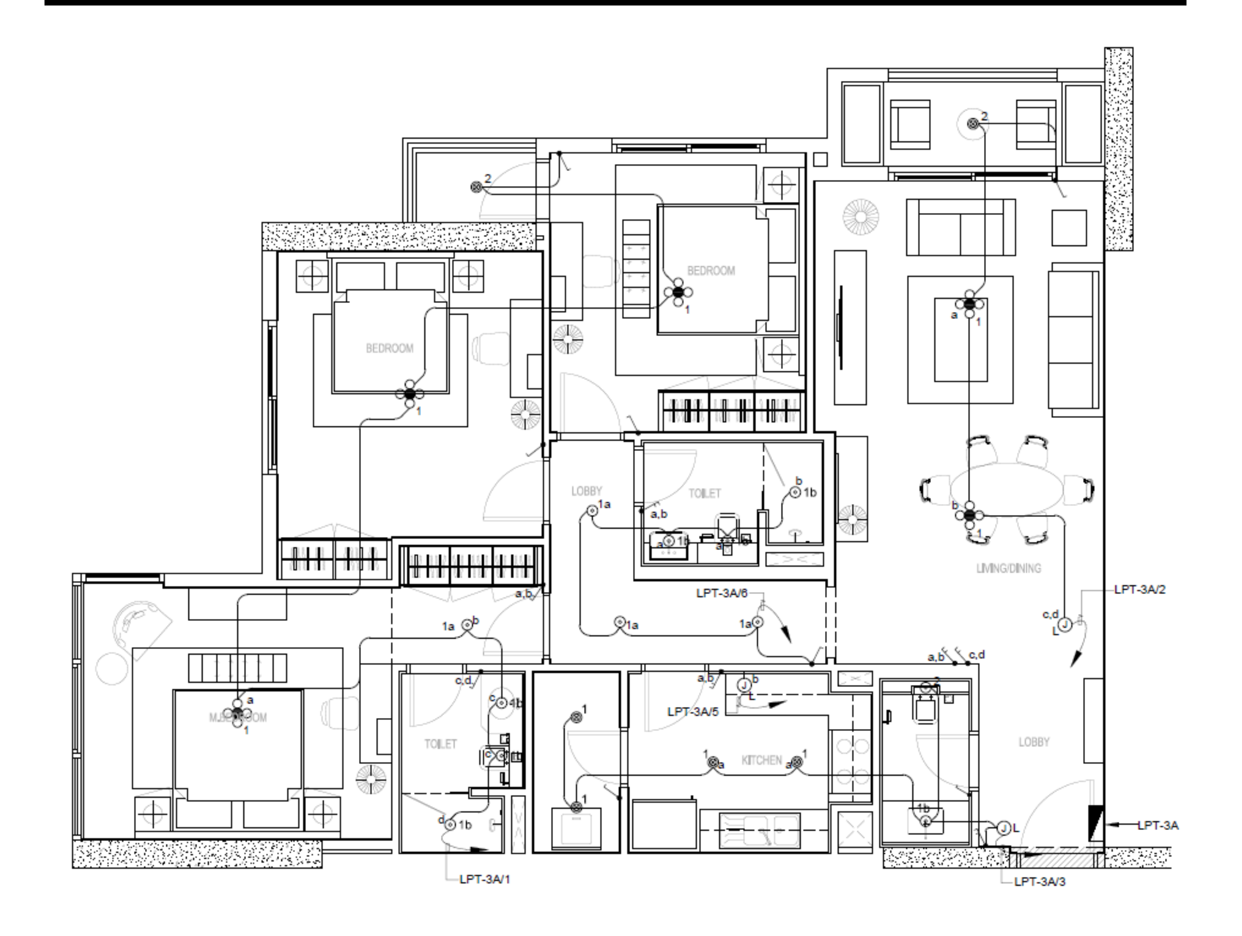
5-2 الملامح العامة لأعمال الكهرباء

قبل الدخول فى تفاصيل الحسابات الكهربية للأحمال ولمقاطع الكابلات وخلافه فقد رأيت إنه من المفيد أولا عرض ملامح أعمال الكهرباء من خلال عرض الخطوات اللازمة لتصميم اللوحات الكهربية بطريقة سريعة بدون حسابات، ثم فى الأجزاء التالية نعرض تفاصيل الحسابات. وعموما يمكن تلخيص خطوات التصميم (سواء كانت فيلا أو مستشفى أو مصنع أو غيره) في الخطوات التالية:

5-2-1 الخطوة الأولي: توزيع الأحمال الكهربية علي الرسم

الأحمال الكهربية في المنازل تشمل :

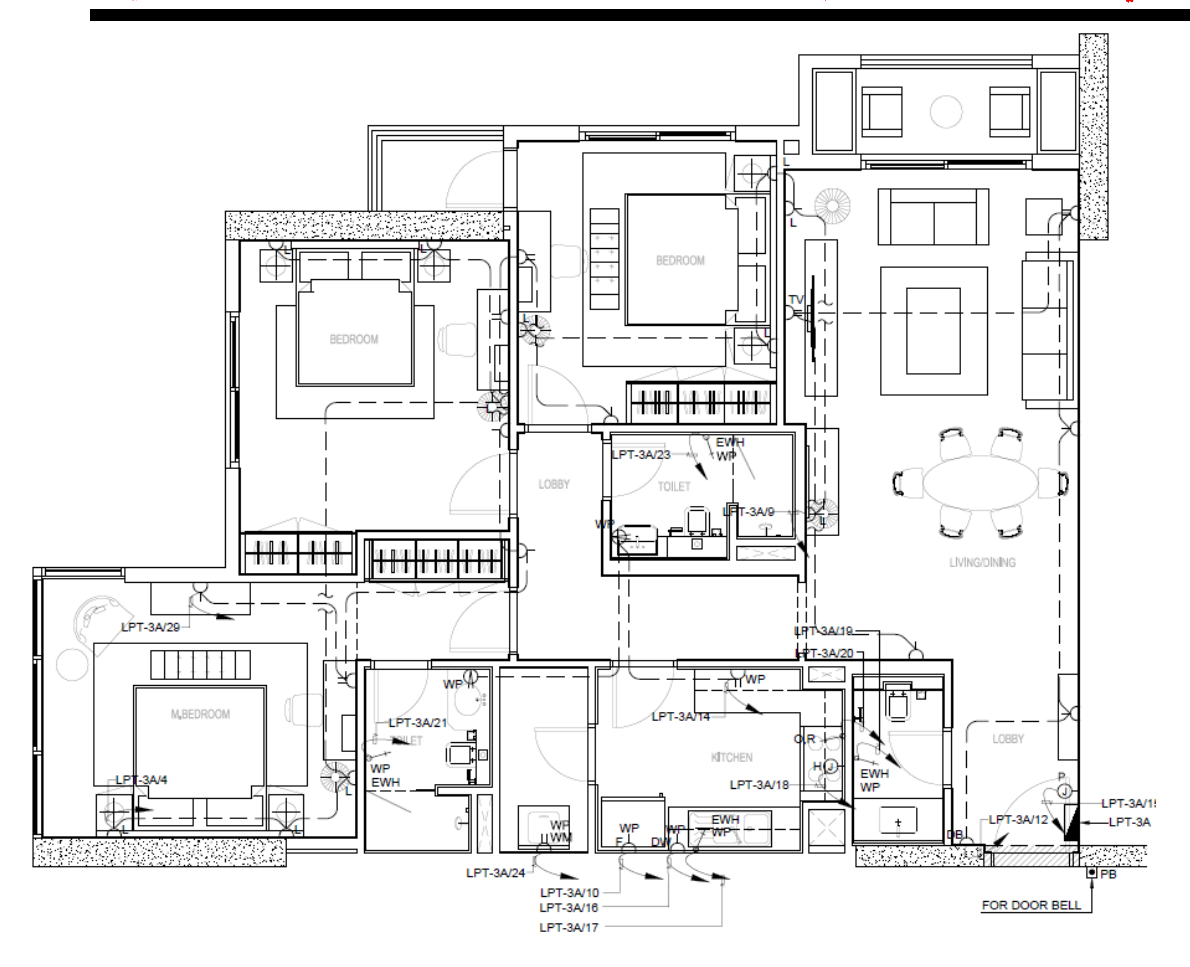
1. كشافات الإنارة ومفاتيح الإنارة. يفضل عمل Layer منفصلة داخل الـــ AutoCad. وبالطبع سيكون هناك عند الطباعة مخططات منفصـــلة كما في الصـــورة التالية (مثال مأخوذ من تصـــميم فيلا مع ملاحظة أن الصورة لن تكون واضحة إلا إذا تم تكبير الصفحة إلى 150% على الأقل).



البعض يفضــل إعطاء كل حمل كهربى رمزا يبين نوعية الحمل، ففي الشـكل السـابق تجد هناك لمبات عليها الرمز 1a، ولمبات أخرى عليها الرمز 1b، وهكذا، ثم يوضـــع توصـــيف لكل رمز (حمل) في جداول خاصة فهذه قد تكون من النوع الـ LED، وتلك مثلا نجفة بها 10 لمبات إلخ.

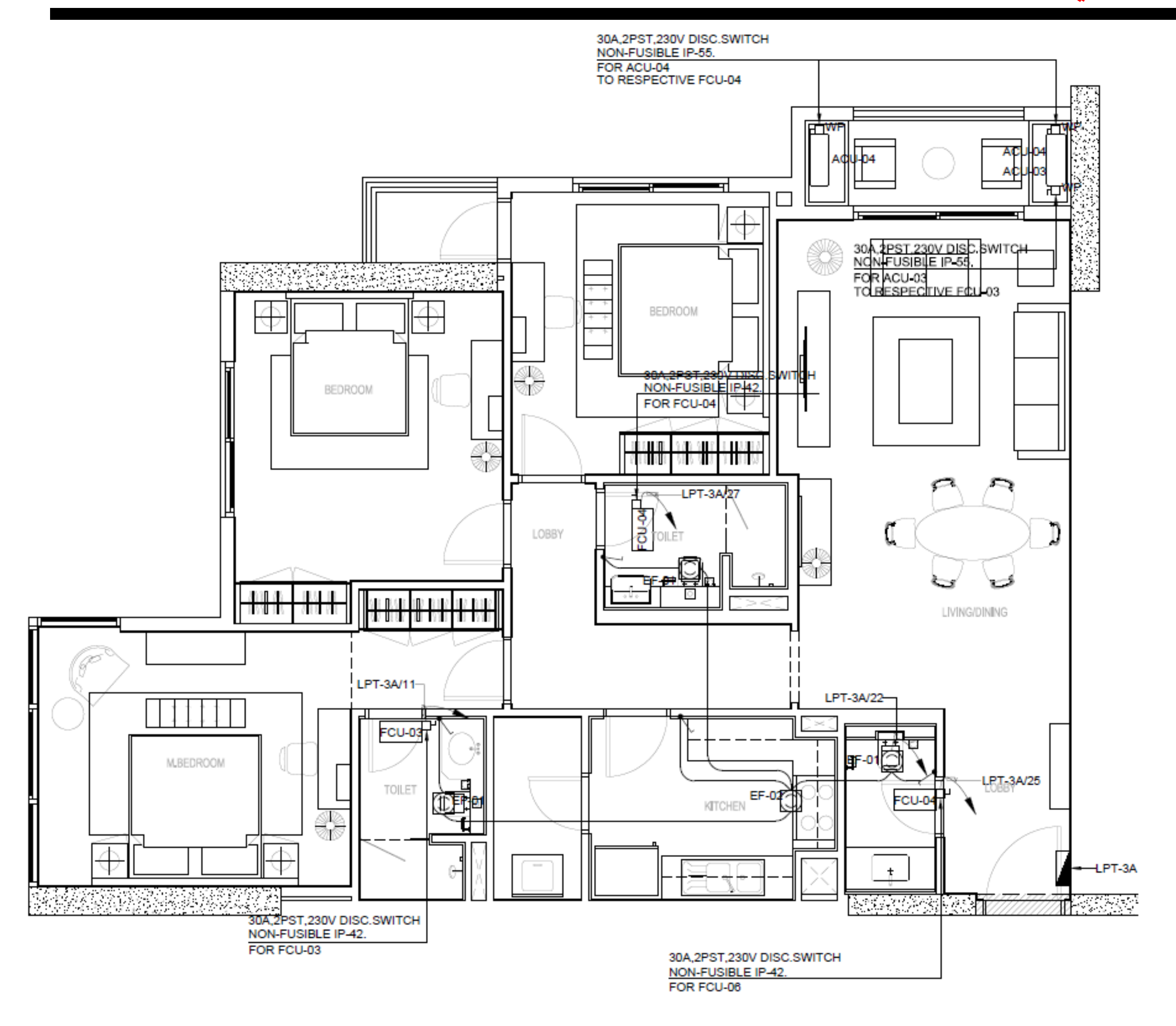
لاحظ أيضـا طريقة الترقيم، فجميع هذه الدوائر مغذاة من لوحة اسـمها LPT-3A وهى اللوحة المسئولة عن تغذية المستوى الثالث من الفيلا، ثم يوضع رقم الدائرة بعد الاسم.

2. توزع المخارج العامة Sockets على الرسـم في Layer منفصـلة حتى لو كانت مغذاة من نفس اللوحة كما في الصورة التالية لنفس الفيلا السابقة) . وغالبا يضـاف معها على نفس الــ Layer سخانات المياه و أماكن أحمال القوى الكبيرة (الفرن الكهربى Range والغسـالة والمجفف Dryer وسـخانات المياهWH والشفاطات EX) وبالطبع سيكون ذلك في المساحات الصغيرة أما المساحات الكبيرة فالأمر مختلف.

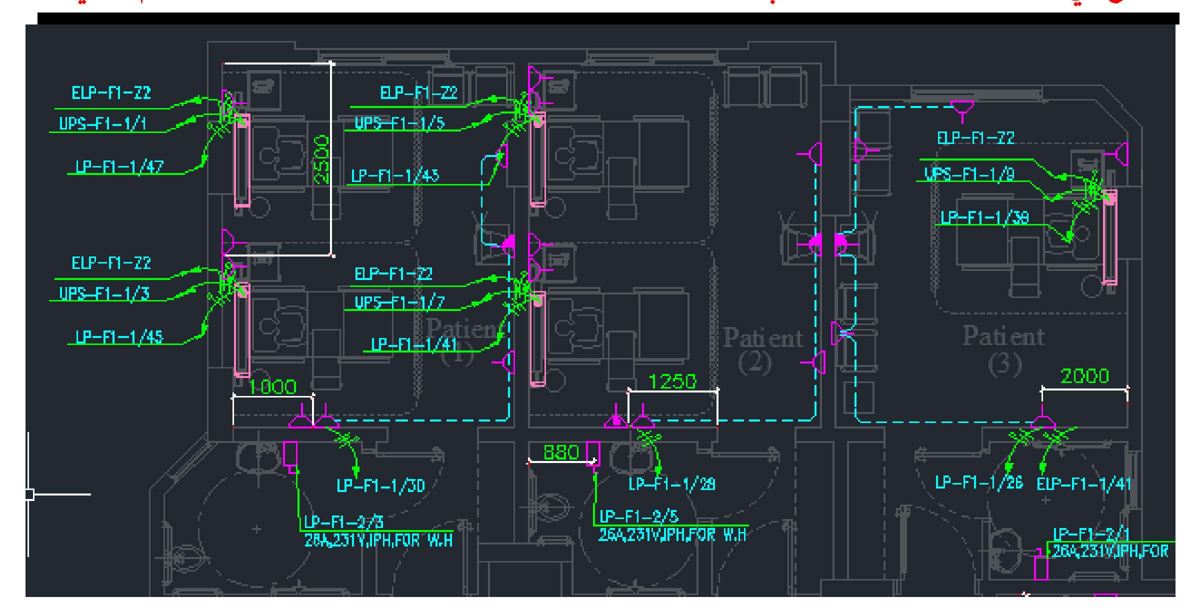


3. أما الأحمال الميكانيكية الخاصة بالتكييف المركزى فتحتاج إلى Layer منفصلة تظهـــــــــــر عليها الـ Fan Coil Units, FCU كما في الشكل التالى لنفس الفيلا السابقة.

لاحظ أنه بسبب صغر مساحة الفيلا فإن جميع الأحمال السابقة مغذاة من نفس اللوحة (LPT-3A) ولا نحتاج للوحات منفصلة.



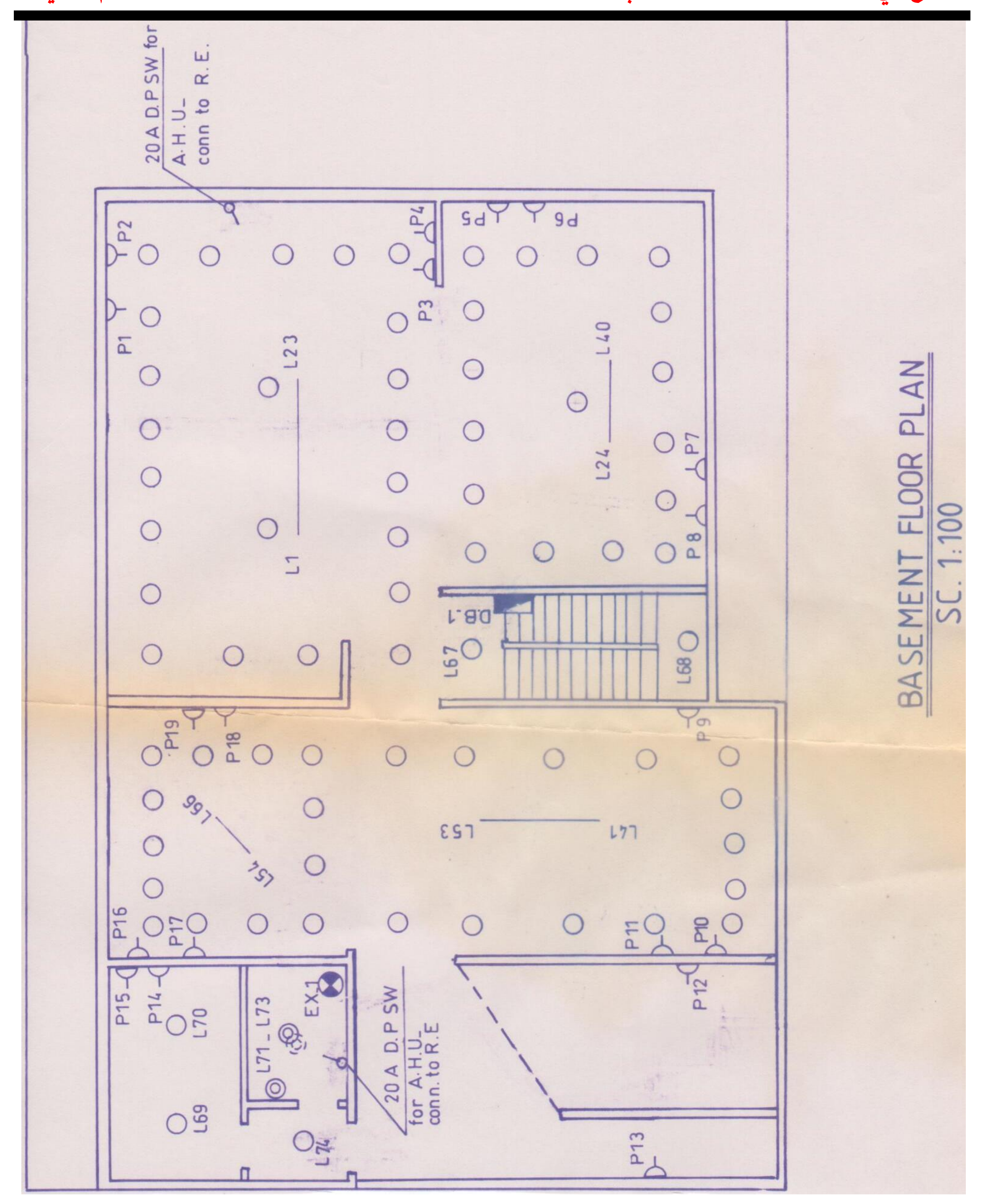
ملحوظة هامة: يجب عند اختيار الـــ Symbols أن تكون الـــــ Symbol للأحمال التي ستُغذى من تغذية عادية مختلفة عن Symbol الأحمال التي ســتغذى من مولد الطوارئ، أو تلك التي ســتغذى من الـــ UPS حتى لو كانت لنفس النوع ونفس القدرة، على سبيل المثال قد تكون لدينا Socket في حجرة عادية وأخرى من نفس النوعية لكنها ســتغذى وقت الطوارئ من المولد ولدينا أيضــا Socket ثالثة من نفس النوع لكن في حجرة تحتوى على أحمال حساسة، ورغم إنهم في الواقع نفس الـ Socket لكن على الرسـومات سـتأخذ كل واحدة من الثلاثة Symbol مختلفا كما في الصــورة التالية المأخوذة من مخطط مستشفى حيث يظهر سرير المريض وحوله المخارج المختلفة.



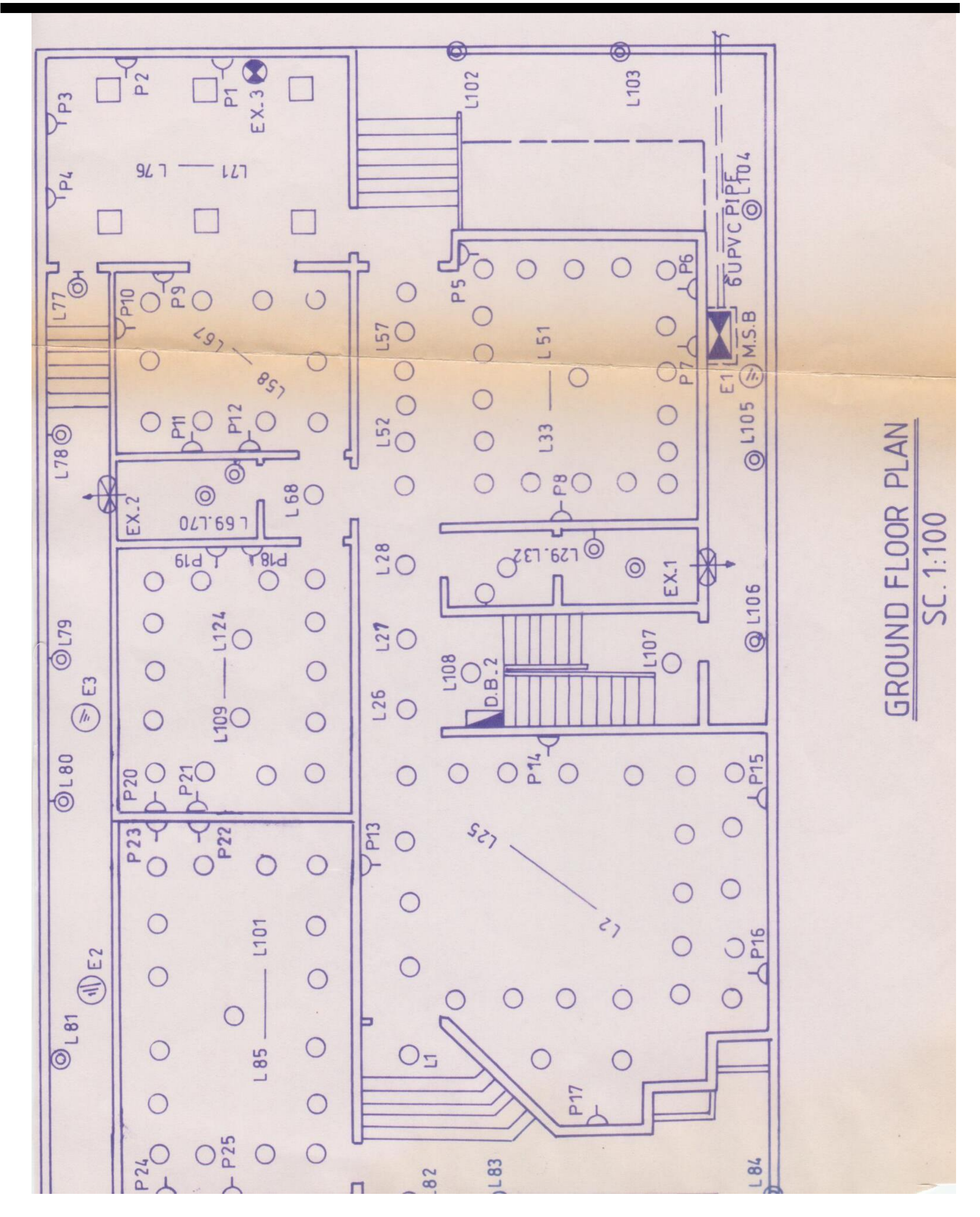
4. مخارج التيار الخفيف (Light Current) يوزع كل نوع منها في Layer منفصلة. على سبيل المثال مخارج Data، FA، Tel، etc. كما يتم عمل Riser خاص بكل نظام من أنظمة التيار الخفيف.
5. أحمال التكييف المركزى توضع في Layer منفصلة إن وجدت، كما توزع وحدات التكييف العادية في Layer منفصلة إذا كانت كثيرة العدد. أما في المشروعات الصغيرة فيمكن دمجها مع الـــ Sockets في الخطوة 2.
6. توزيع أحمال الخدمات العامة.

وكما ذكرنا فى الفصـــل الأول فإن مهندس الكهرباء يحســـن أن تتاح له أيضـــا مخطط مبدئى لتوزيع الفرش داخل البيت. والصور السابقة نماذج لذلك.

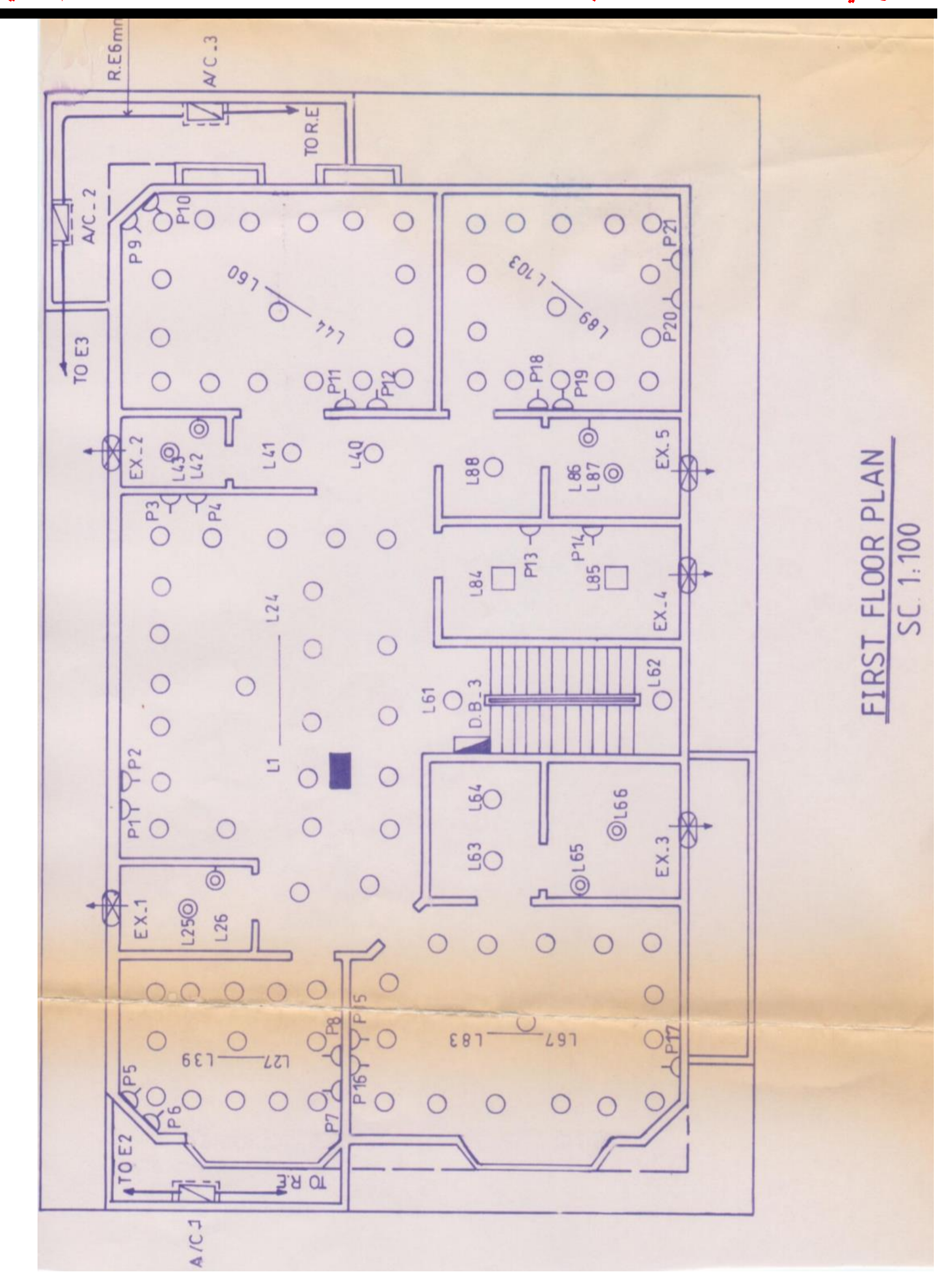
وهناك من يفضل إعطاء كل حمل كهربى رمزا خاصا، ففى الشكل التالى مثلا L1-L23 تعنى اللمبات من رقم 1 إلى رقم 23، وهكذا كما في الأشكال التالية من 5-1 إلى 5-5 التي تمثل توزع الكهرباء في فيلا سكنية من أرضى ودورين، وسنتبع هذه الأشكال بجداول التصميم الخاصة بتك الفيلا . لكن سيكون هذا الموضوع شاقا جدا فى المشاريع الكبيرة لذلك يوضع فى ال panel schedule التوصيف للدائرة عن طريق وضع اسم المكان الذى يحتوى على بداية الدائرة (Home run) مع وضع توصيف لنوعية الحمل.


BASEMENT FLOOR PLAN
SC. 1:100
20 A D.P SW for A.H.U_ conn to R.E.
20 A D.P SW for A.H.U_ conn. to R.E
DB.1

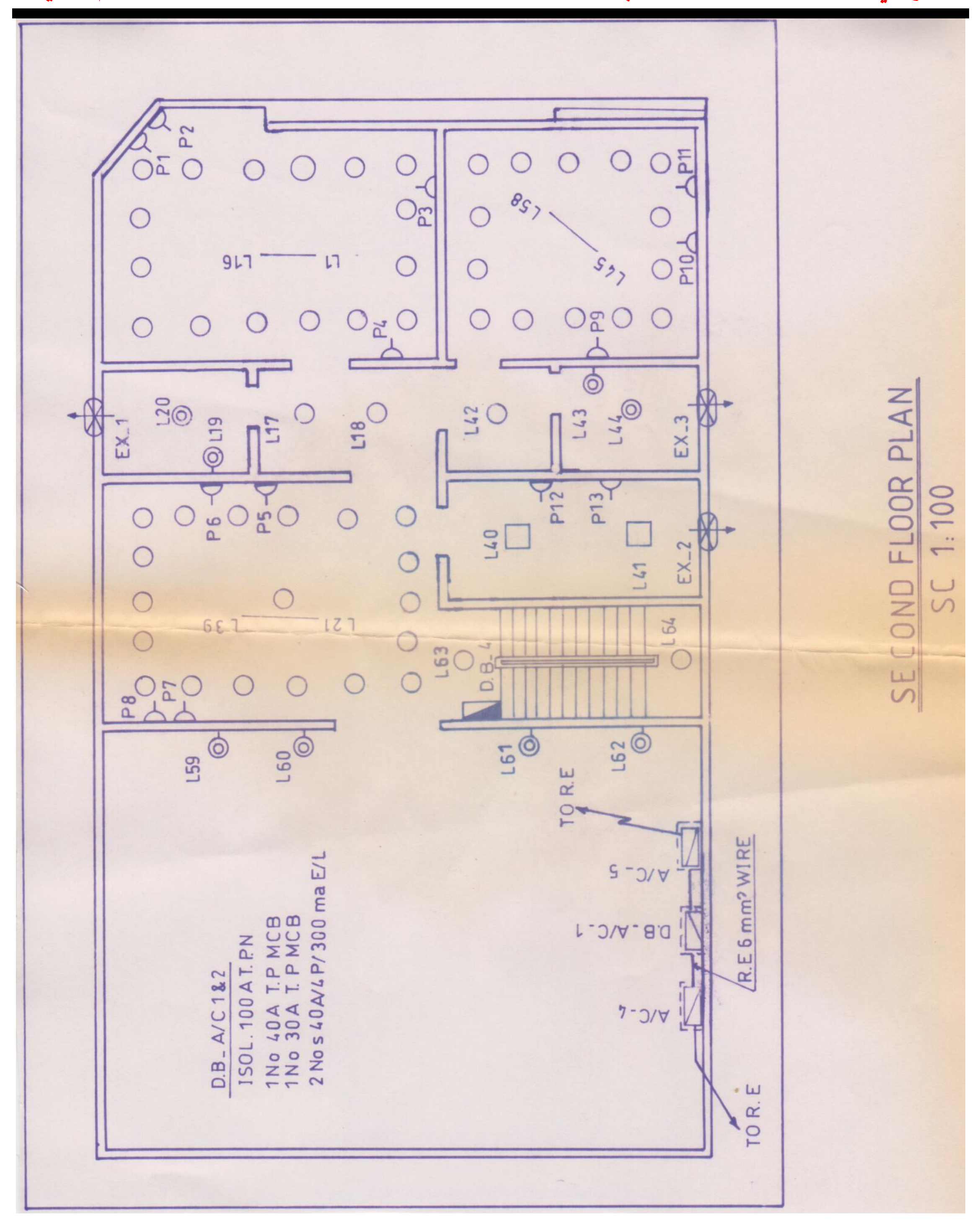
شكل 5-1


GROUND FLOOR PLAN
SC. 1:100
M.S.B
D.B.2
6 UPVC PIPE
EX.1
EX.2
EX.3
E1
E2
E3

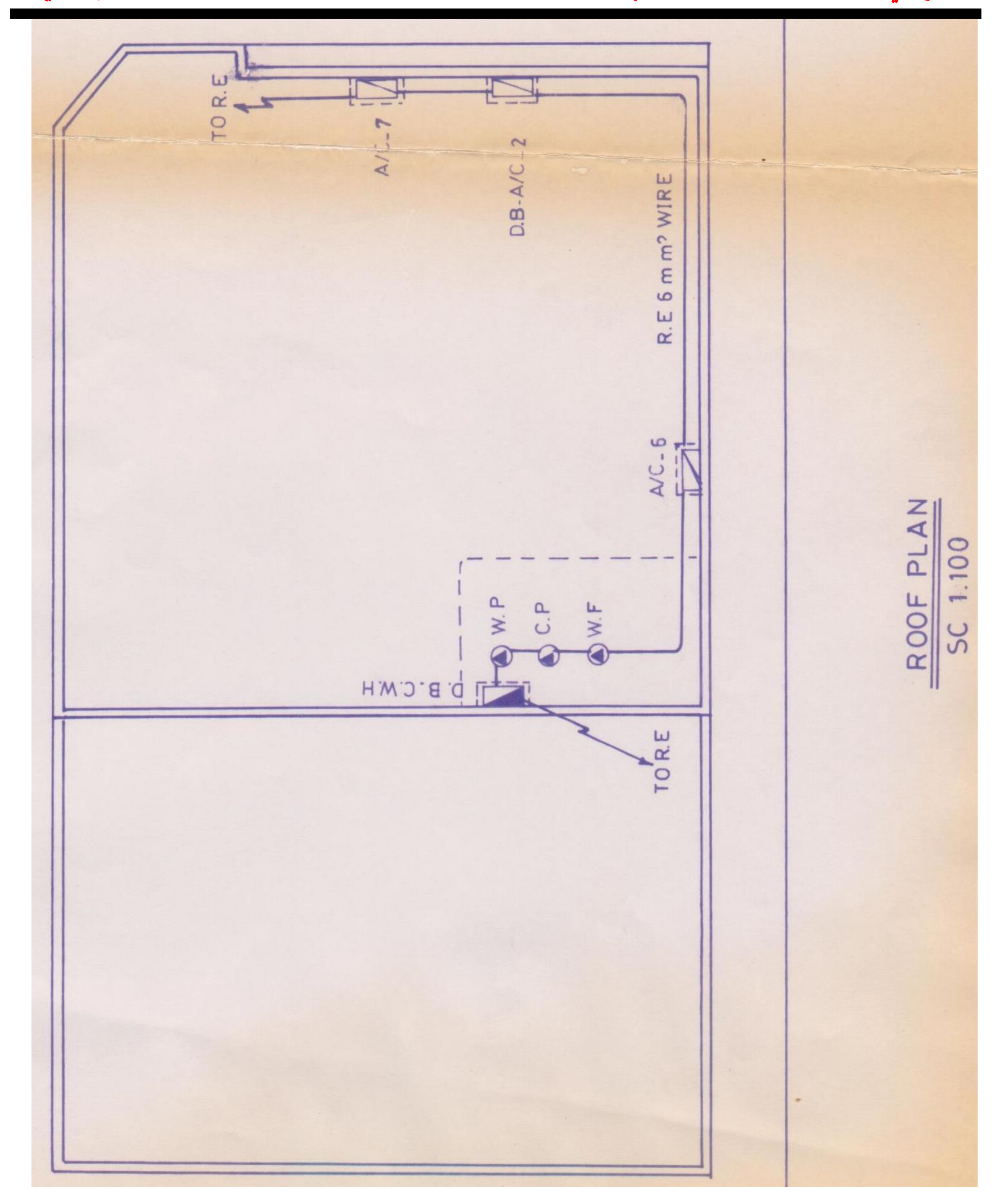
شكل 5-2



شكل 5-3


SECOND FLOOR PLAN
SC 1:100
D.B_A/C 1&2
ISOL. 100 A T.P.N
1 No 40A T.P MCB
1 No 30A T.P MCB
2 Nos 40A/4P/300 ma E/L
R.E 6 mm² WIRE
TO R.E
TO R.E
A/C_4
D.B_A/C_1
A/C_5
D.B_4
EX_1
EX_2
EX_3

شكل 5-4


TO R.E
A/C_7
D.B-A/C_2
R.E 6 mm² WIRE
A/C_6
W.P
C.P
W.F
D.B.C.W.H
TO R.E
ROOF PLAN
SC 1.100

شكل 5-5

ويمكن معرفة معلومات عن الرموز المستخدمة فى الرسم من خلال جداول تعريفية أو من خلال جداول الحسابات كما فى الخطوة التالية.

5-2-2 الخطوة الثانية: تصميم اللوحات الفرعية

وهذه الخطوة تشتمل على ما يلى:

1- يتم تجميع أحمال كل نوع في دوائر فرعية منفصلة كما في الجدول 5-1، ففي هذا المشروع تم تجميع عدد كل 5-10 كشافات (حسب قدرة الكشاف) في دائرة منفصلة (الإنارة)، وبالمثل تجميع البرايز وهكذا. على سبيل المثال فاللمبة L20 فى الدور الثاني قدرتها 60 W، تتغذى من اللوحة DB-4، و سلكها مقطعه $1.5\ mm^2$ والقاطع 10A، ولون السلك أحمر.

2- تغذية أحمال القوى مثل السخانات في دوائر منفصل لكل جهاز على حدة. وذلك كله طبقا لقواعد التصميم التى أشرنا إليها سابقا.

3- داخل الجدول يظهر مقطع السلك المناسب لهذه الدائرة الفرعية وكذلك قاطع الحماية للدائرة الفرعية.

4- يتم تفريغ هذه المعلومات فى جداول تعرف بالـ Panel Board Schedules كما في الجداول من 5-1 إلى 5-4 تظهر فيها أسماء الأحمال وقدراتها.

ويمكنك باستخدام هذه الجداول معرفة لون السلك المستخدم فى توصيل هذه اللمبة لأن الأحمال موزعة على الـ 3-phases وعلى المقاول الالتزام بالـ Color Code كما ذكرنا سابقا.

جدول 5-1 : اللوحة الفرعية DB-1 (Distribution board)

D.B.-1 6 WAYS TP D.B.B			100A TP ISOL 40A 300 mA 4P E/L (10,15)A SP MCB			
CR NO	PH	WIRE SIZE MCB RATE mm2 / Amp	DESCRIPTION	LOAD - W		
				R	Y	B
1	R	1.5/10	L1-L23 23X60 6SW	1380		
	Y	DO	L24-L40 17X60 6SW		1020	
	B	2.5/15	L41-L66 26X60 5SW			1560
2	R	1.5/10	L67-L68 2X100 1SW	200		
	Y	DO	L69-L74+EX1 7X100 4SW		700	
	B	10A	SPARE			000
			40A 30 mA 4P E/L 15A SP MCB			
3	R	4./15	P1-P4 4X100	400		
	Y	DO	P5-P8 4X100		400	
	B	DO	P9-P12 4X100			400
4	R	2.5/15	P13 1X500 VACC. CLEANER	500		
	Y	DO	P14-P15 2X100		200	
	B	4./15	P16-P19 4X100			400
5	R	2.5/15	20A DP SW A.H.U-1	432		
	Y	DO	20A DP SW A.H.U-2		432	
	B	15A	SPARE			000
6	R	DO	DO	000		
	Y	DO	DO		000	
	B	DO	DO			000
		T.C.L-W	8024	2912	2752	2360

جدول 5-2: اللوحة الفرعية DB-2

D.B.-2 8 WAYS TP D.B.B			100A TP ISOL 40A 300 mA 4P E/L (10,15)A SP MCB			
CR NO	PH	WIRE SIZE MCB RATE mm2 / Amp	DESCRIPTION	LOAD - W		
				R	Y	B
1	R	2.5/15	L1-L27 26X60+100 8SW	1660		
	Y	DO	L28-L57+EX1 30X60+100 9SW		1900	
	B	1.5/10	L58-L70+EX2 13X60+100 6SW			880
2	R	DO	L71-L77+EX3 8X100 4SW	800		
	Y	2.5/10	L78-L84 7X100 4SW		700	
	B	1.5/10	L85-L101 17X60 3SW			1020
3	R	2.5/10	L102-L106 6X100 4SW	600		
	Y	1.5/10	L107-L108 2X100 3SW		200	
	B	DO	L109-L124 16X60 6SW			960
4	R	10A	SPARE	000		
	Y	DO	DO		000	
	B	DO	DO			000
			40A 30 mA 4P E/L 15A SP MCB			
5	R	4./15	P1-P4 3X100+500 KIT	800		
	Y	DO	P5-P8 4X100		400	
	B	DO	P9-P12 4X100			400
6	R	4./15	P13-P17 5X100	500		
	Y	DO	P18-P21 4X100		400	
	B	DO	P22-P25 4X100			400
7	R	15A	SPARE	000		
	Y	DO	DO		000	
	B	DO	DO			000
8	R	DO	DO	000		
	Y	DO	DO		000	
	B	DO	DO			000
		T.C.L-W	11620	4360	3600	3660

جدول 5-3: اللوحة الفرعية DB-3

D.B.-3 6 WAYS TP D.B.B			100A TP ISOL 40A 300 mA 4P E/L 10A SP MCB			
CR NO	PH	WIRE SIZE MCB RATE mm2 / Amp	DESCRIPTION	LOAD - W		
				R	Y	B
1	R	1.5/10	L1-L24 24X60 6SW	1440		
	Y	DO	L25-L39+EX1 15X60+100 6SW		1000	
	B	DO	L40-L60+EX2 21X60+100 4SW			1360
2	R	D1.5/10	L61-L62 2X100 1SW	200		
	Y	DO	L63-L83+EX3 21X60+100 4SW		1360	
	B	DO	L84-L103+EX4-5 18X60+4X100 8SW			1480
			40A 30 mA 4P E/L 15A SP MCB			
3	R	4./15	P1-P4 4X100	400		
	Y	DO	P5-P8 4X100		400	
	B	DO	P9-P12 4X100			400
4	R	4./15	P13-P14 100+500 KIT	600		
	Y	DO	P15-P17 3X100		300	
	B	DO	P18-P21 4X100			400
5	R	15A	SPARE	000		
	Y	DO	DO		000	
	B	DO	DO			000
6	R	DO	DO	000		
	Y	DO	DO		000	
	B	DO	DO			000
T.C.L-W			9340	2640	3060	3640

جدول 5-4: اللوحة الفرعية DB-4

D.B.-4			100A TP ISOL			
6 WAYS TP			40A 300 mA 4P E/L			
D.B.B			10A SP MCB			
CR NO	PH	WIRE SIZE MCB RATE mm2 / Amp	DESCRIPTION	LOAD-W R	LOAD-W Y	LOAD-W B
1	R	1.5/10	L1-L20+EX1 20X60+100 4SW	1300		
	Y	DO	L21-L39 19X60 3SW		1140	
	B	DO	L40-L58+EX2-3 17X60+4X100 6SW			1420
2	R	10A	SPARE	000		
	Y	1.5/10	L59-L62 4X100 3SW		400	
	B	DO	L63-L64 2X100 1SW			200
			40A 30 mA 4P E/L			
			15A SP MCB			
			30A TP MCB			
3	R	4./15	P1-P4 4X100	400		
	Y	DO	P5-P8 4X100		400	
	B	DO	P9-P11 3X100			300
4	R	15A	SPARE	000		
	Y	2.5/15	P12-P13 100+500 KIT		600	
	B	15A	SPARE			000
5	R	DO	DO	000		
	Y	DO	DO		000	
	B	DO	DO			000
6	R	4X6	D.B C.W.H			
	Y	30A		3200	3200	3500
	B	TP				
T.C.L-W			16060	4900	5740	5420

والجدول 5-5 خاص بأحمال التكييف المركزى والمتمثل بسبع وحدات تكييف، حيث يظهر في الجدول حمل كل وحدة والمساحة التي تغطيها. وسيتم تغذية هذه الوحدات السبع من ثلاث لوحات تغذية فرعية.

جدول 5-5: قدرات وحدات التكيف بالمبني

SR. NO	A/C MODEL COOLEX	QTY	COMP kw	COND kw	EVAP kw	TOT KW	AREA	LOCATION
1	NGE 060 A2 / NGC 060 A2	1	5.381	0.432	0.932	6.745	250.00	BASEMENT
2	NGE 060 A2 / NGC 060 A2	1	5.381	0.432	0.932	6.745		
3	PNG 076 A2	1	6.9	0.46	1.2	8.56	261.00	GROUD FL
4	PNG 076 A2	1	6.9	0.46	1.2	8.56		
5	PNG 076 A2	1	6.9	0.46	1.2	8.56	275.00	FIRST FL
6	PNG 076 A2	1	6.9	0.46	1.2	8.56		
7	PNG 090 A2	1	6.576	0.664	1.855	9.095	140.00	SECOND FL
					TOTAL (KW)	56.825	926.00	
				W / m2		61.37		

و الجدول 5-6 يمثل اللوحة الفرعية لتغذية وحدتى التكييف الرابعة والخامسة، وبالمثل توجد لوحتان غيرها: الأولى لتغذية الوحدات من 1-3، والثانية لتغذية الوحدات 6-7، وقد ظهر حمل هاتين اللوحتان في الجدول 5-8 الخاص باللوحة العمومية.

جدول 5-6: اللوحة الفرعية لوحدتى التكييف الرابعة والخامسة

D.B. - A / C 1	100A TP ISOL 2 NOS 30 A TP MCB 2 NOS 40A 300 MA 4P E/L			
ITEM	**R**	**Y**	**B**	**T.C.L.**
A / C 4	2850	2850	2860	8560
A / C 5	3035	3030	3030	9095
T.C.L.	**5885**	**5880**	**5890**	**17655**

والجدول 5-7 خاص بأحمال الخدمات العامة. وهذه اللوحة ستغذى من DB-4 كما سيظهر في الـ SLD في شكل 5-6.

جدول 5-7: اللوحة الفرعية للخدمات العامة

D.B.- C.W.H.			30 A TP ISOL			
2 WAYS TP			15 A SP MCB			
S.B.B.			20A TP MCB			
CR NO	PH	WIRE SIZE MCB RATE mm2 / Amp	DESCRIPTION	LOAD - W -		
				R	Y	B
1	R	4X4	CENTRAL WATER HEATER 1			
	Y	20A		3000	3000	3000
	B	TP				
2	R	2.5/15	WATER FILTER	200		
	Y	DO	CIRC. PUMP		200	
	B	DO	WATER PUMP			500
T.C.L. - W-			9900	3200	3200	3500

5-2-3 الخطوة الثالثة: تصميم اللوحات العمومية

تصميم اللوحة العمومية Main Switch Board (في هذا المشروع اسمها M.S.B.-1) وهى التى تغذى اللوحات الفرعية السابقة، حيث ظهر في الجدول 5-8 أحمال الأربع لوحات الفرعية (DB-1، DB-2، DB-3، DB4) بالإضافة إلى لوحات تغذية وحدات التكييف السبع. (لوحة الخدمات مغذاة من اللوحة الرابعة DB-4).

جدول 5-8 : : اللوحة الرئيسية بالمبني

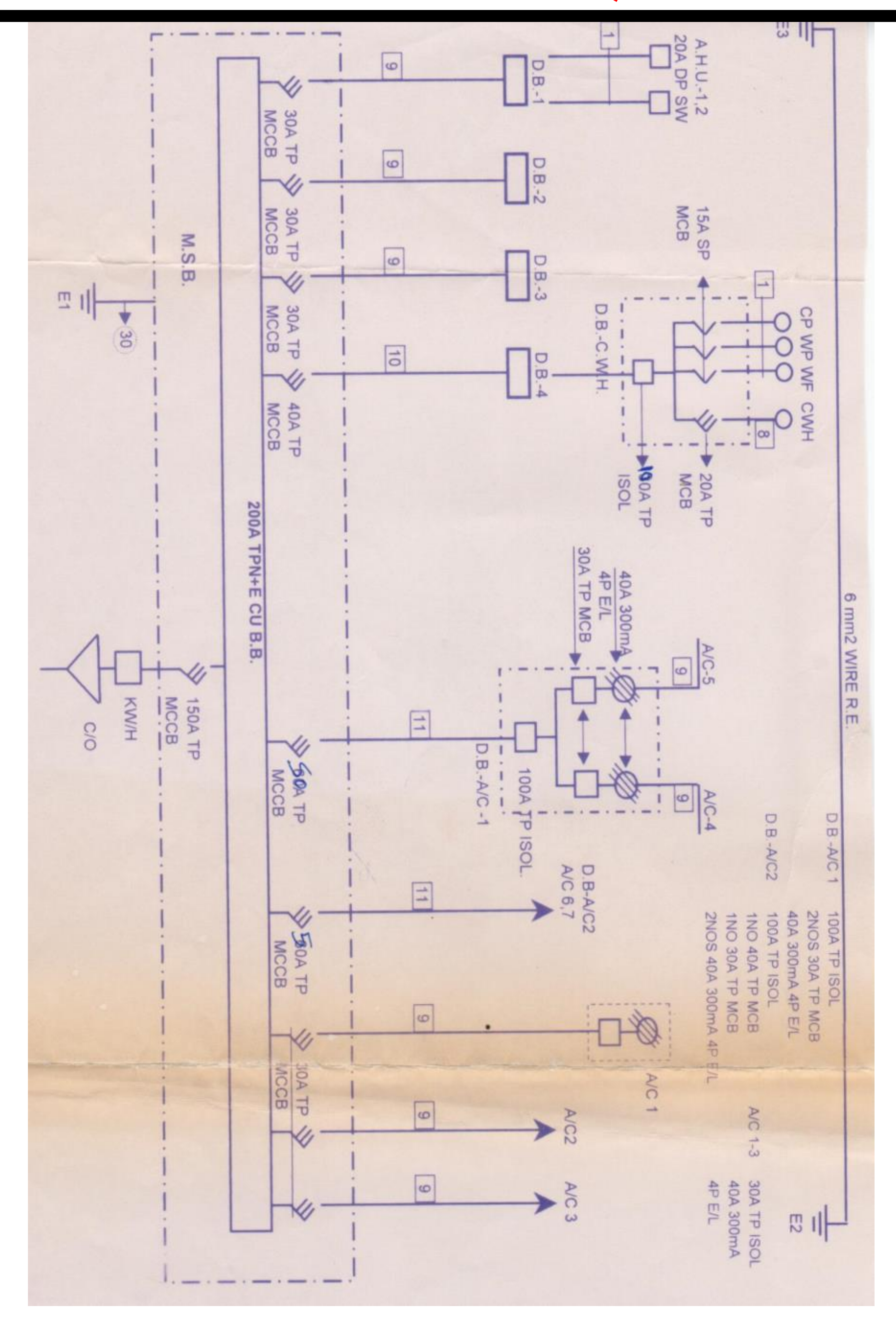
M.S.B.-1				
ITEM	R	Y	B	T.C.L.
D.B.-1	2912	2752	2360	8024
D.B.-2	4360	3600	3660	11620
D.B.-3	2640	3060	3640	9340
D.B.-4	4900	5740	5420	16060
D.B.- A/C 1 (A/C 4 , 5)	5710	5700	5710	17120
D.B.-A/C 2 (A/C 6 , 7)	5885	5880	5890	17655
A/C 1 - 3	6728	6728	6730	20186
T.C.L. (W)	**33135**	**33460**	**33410**	**100005**

ملحوظة:

في كثير من المكاتب يفضل التفريق فى التسمية، فتطلق panel boards على اللوحات الفرعية مثل LP : Lighting panel، وكذلك PP: Power panel، فحين تطلق تسمية اللوحات العمومية :DB Distribution board على اللوحات التى تغذى مجموعة لوحات فرعية، وبالتالي تسمى لوحة التوزيع الرئيسية للمبنى التى تغذى مجموعة لوحات عمومية MDB: Main Distribution Board.

5-2-4 الخطوة الرابعة: رسم الــــ SLD

يتم تفريغ معلومات اللوحات العمومية على لوحة توزيع مرسومة تسمى Single Line Diagram كما فى شكل 5-6.



شكل 5-6

ويتم تعريف كل الرموز الموجودة على هذه اللوحة بواسطة جدول يسمى Feeder Schedule كما في شكل 5-7:

CABLE SIZE

1- (2 X 2.5 + 1) MM2 CU / PVC CABLE IN 20MM Q PVC COND.
2- (2 X 4 + 2.5) MM2 CU / PVC CABLE IN 20MM Q PVC COND.
3- (2 X 6 + 2.5) MM2 CU / PVC CABLE IN 25MM Q PVC COND.
4- (2 X 10 + 6) MM2 CU / PVC CABLE IN 30MM Q PVC COND.
5- (2 X 16 + 6) MM2 CU / PVC CABLE IN 38MM Q PVC COND.
6- (2 X 25 +16) MM2 CU / PVC CABLE IN 38MM Q PVC COND.
7- (4 X 2.5 +1) MM2 CU / PVC CABLE IN 20MM Q PVC COND.
8- (4 X 4 +2.5) MM2 CU / PVC CABLE IN 25MM Q PVC COND.
9- (4 X 6 +2.5) MM2 CU / PVC CABLE IN 38MM Q PVC COND.
10- (4 X 10 + 6) MM2 CU / PVC CABLE IN 38MM Q PVC COND.
11- (4 X 16 + 6) MM2 CU / PVC CABLE IN 38MM Q PVC COND.
12- (4 X 25 +16) MM2 CU / PVC CABLE IN 50MM Q PVC COND.
13- (4 X 35 +16) MM2 CU / PVC CABLE IN 50MM Q PVC COND. (ONE BEND)
14- (4 X 50 +16) MM2 CU / PVC CABLE IN 50MM Q PVC COND. (W/O BEND)
15- 4C X 6 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
16- 4C X 10 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
17- 4C X 16 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
18- 4C X 25 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
19- 4C X 35 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
20- 4C X 50 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
21- 4C X 70 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
22- 4C X 95 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
23- 4C X 120 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
24- 4C X 150 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
25- 4C X 185 MM2 CU / XLPE / SWA / PVC CABLE IN 4" UPVC COND.
26- 1 X 6 MM2 WIRE RING EARTH.
27- 1 X 16 MM2 WIRE RING EARTH.
28- 1 X 50 MM2 WIRE EARTH.
29- 1 X 70 MM2 WIRE EARTH.
30- 3 X 25 MM2 CU. TAPE.

NOTE: ALL WIRES ARE FROM GULF CABLE FACTORY TYPE (5)

GENERAL NOTES

* AL W.H.'S AT ATTIC ARE PROVIDE WITH 20A DP SW .
* ALL A/C'S AT ATTIC OR ROOF ARE PROVIDE WITH MAIN ISOLATOR AND CONNECTED TO RING EARTH.
* A.C.B. B.C. ARE 50 KA AT L.T.P.
* MCCB'S B.C. ARE 22 KA AT M.S.B.
* MCB'S B.C. ARE 6 KA AT D.B.
* E.L.C.B. WITHSTAND 6 KA.
* ALL MOTORS UP TO 15 HP ARE PROVIDE WITH D.O.L. STARTER.
* ALL MOTORS ABOVE 15 HP ARE PROVIDE WITH DELTA-STAR STARTER.
* ALL ISOLATORS ARE IN LOAD TYPE.
* ALL ELECTRICAL METERS ARE FIXED IN ELECTRICAL ROOM.
* ALL MCCB'S ARE PROVIDE WITH PAD LOCK AT COMMERCIAL BUILDING.
* ALL SPOT LIGHT HOLDERS MAX CAP. ARE 60 W.
* ALL CIRCUITS OF 2.5 mm2 AND 20A MCB ARE RUN IN SEFERATE PIPE.
* ALL FUSES ARE H.R.C.
* ALL SOCKETS OF DIFFERANT PHASES ARE MIN. 2 METERS APART.
* ALL M/C ARE NEAR TO POWER SUPPLY.
* IN FLOURESCENT LIGHT GEAR LOSS ARE INCLUDED.
* ALL POWER SUPPLY ARE NEAR TO MACHINES OR A / C UNITS.

شكل 5-7

كل ما سبق يعتبر وصفا للمنتج النهائى الذى نسعى إليه، أما عن تفاصيل الحسابات التصميمية فتجدها فى الأجزاء التالية.

5-3 حساب الحمل التصميمي للوحة توزيع فرعية

فى كل القواعد التصـميمية السـابق دراسـتها فى الفصـل الرابع كانت الخطوة الأولى دائما هى حساب الـــــ Rated Current المار بالدائرة، وكان ذلك أمرا ميســـورا لأننا كنا نتعامل مع دائرة فرعية منتهية بحمل قدرته معروفة ومحددة. المشـكلة الآن عند اختيار مقطع الكابل العمومى واختيار الـــــ CB العمومى لأى لوحة توزيع هى:

كيف يمكن تحديد الـ Rated Load لهذه اللوحة؟

فربما يتبادر إلى الذهن أن الـ Rated Load للوحة هى عبارة عن مجموع الأحمال المغذاة من هذه اللوحة TCL (Total Connected Load)، وهذا قد يكون صـــحيحا فى بعض الحالات، لكن فى أحيان أخرى قد لا تعمل جميع الأحمال المغذاة من هذه اللوحة فى وقت واحد خاصـة فى حالة الأحمال الصـناعية، ومن ثم فالبعض قد يري إنه من غير الاقتصـادي أن يتم حساب الأحمال على أساس القدرة المركبة الكلية ويلزم لذلك تطبيق الـ Demand Factors التي ذكرناها في الفصل الثالث.

ومن هنا فالخطوة الأولى قبل اختيار الـــــ CB العمومى، والكابل العمومى لأى لوحة هى تحديد الحمل التصــميمى لها، وغالبا إما ســيكون مجموع كل الأحمال Total Connected Load، أو يســاوى نســبة معينة من مجموع الأحمال المركبة فى اللوحة. وتختلف هذه النسـبة حسب نوع المواصـفات المستخدمة فى التصميم وكذلك حسب نوع الأحمال المغذاة من اللوحة، وحسب الـ Demand Factor.

5-3-1 الحمل التصميمي طبقًا للــــ NEC

في الـــــــ NEC (National Electrical Code)، وهو الكود القياسـي الأمريكي، تعتبر أحمال الإنارة والمخارج العامة (البرايز) والغسالة ثلاثتهم فقط هم من يحسب لهم معامل طلب Demand Factor، DF (يكون أقل من واحد) ، أما بقية الأحمال كالتكييف والســـخان فتجمع مباشـــرة على مجمل أحمال الإنارة والمخارج والغســالة بعد أخذ معامل الطلب Demand Factor فى الاعتبار، وذلك كما فى الجدول 5-9 :

جدول 5-9 : قواعد حساب أحمال اللوحة الفرعية فى الـ NEC

1. نحسب مجموع أحمال الإنارة والمخارج العامة والغسالة.
2. نعتبر قيمة معامل الطلب (DF) لأول 3000VA من مجموع الأحمال الســـابقة تســـاوى واحد صحيح (DF=1).
3. بعد طرح الـــ 3000VAمن مجموع الأحمال المحسوبة فى الخطوة رقم 1- نعتبر الــ DF للحمل المتبقى يساوى 0.35.
4. الأفران الكهربية والتكييف والســـخانات والمجفف Dryer وغيرها تضـــاف مباشـــرة إلى الناتج من الخطوة السابقة على اعتبار أن لها (DF = 1) ، وبالتالى نصل إلى ما يسمى بالحمل التصميمى.
5. يتم اختيار الكابل والـــ CB العمومى بناء على الحمل التصميمى الناتج من الخطوة الرابعة حسب القواعد التالية:

1 – Find : I_{Load}

(2 – Choose $I_{CB} > 1.25\ I_{Load}$ (Choose nearest higher standard CBs

3 (– Choose $I_{Cable} > I_{CB}$ (Choose nearest higher standard cables

واضـح أن هذه القواعد تم اختيارها لتناسب البيئة الأمريكية، فالأفران الكهربية على سبيل المثال غير شائعة فى بلادنا، حيث الأفران الغازية لدينا أرخص وأوفر فى الاستهلاك.

و كون هذه القواعد مطبقة فى بلد ما لا تعنى أنها تصلح لكل البلاد، بل يجب أن يفكر المهندس فى طبيعة الأحمال المغذاة، فربما – على سبيل المثال – قد يحتاج إلى افتراض معامل الطلب (Demand Factor) مثلا لأحمال الإنارة يسـاوى واحد صـحيح بدلا من القيمة الواردة فى هذه المواصـفات. لكن القواعد السـابقة يمكن أن تعتبر "**حد أدنى**" لا يجب أن يقل الحمل التصميمى عنه.

وهذه بعض الأرقام المفيدة طبقاً لقواعد الـ NEC :

- أحمال المخارج العامة تقدر إجمالا بـ 3000VA.
- الغسالة حملها التقريبى 1500VA.
- الفرن الكهربى إن وجد 8000VA.

- مجفف الملابس Dryer إن وجد 5000VA.

5-3-2 الحمل التصميمي طبقًا للـ TCL(Total Connected Load)

هذه الطريقة هى الأكثر سـهولة، فعمليا يتم التصـميم فى حالة الشـقق السـكنية ذات الأحمال التقليدية – للسـهولة وللأمان – بناء على حسـاب الحمل المركب الكلى Total Connected Load. وهذا يعنى أننا نحسب المجموع الحقيقى لكافة الأحمال التى سيتم تغذيتها من اللوحة، ثم نختار الكابل والـ CB المناسبين بناء على قيمة هذا الحمل الكلى. ويسـتثنى من ذلك الشـقق الغير تقليدية ذات المسـاحات الشـاسـعة فى الأبراج الفارهة، ففى هذه الحالة سيصـبح التصـميم بناء على الـــــ Total Connected Load غير اقتصادى لتعدد الأجهزة الكهربية بالشقة الواحدة.

وفى كل الأحوال يجب أن نعمل العقل والمنطق عند استعمال هذه الطريقة أو غيرها.

5-4 أمثلة محلولة علي تصميم اللوحات

مثال 5-1 :

احسب الحمل التصميمى لشقة سكنية مساحتها 200 م^2 :

1. بطريقة الـ NEC
2. بطريقة الـ TCL.

أولا الحل بطريقة الـ NEC

بناء على الأحمال التقديرية المشار إليها فإن مجموع الأحمال يحسب بطريقة الـــــ NEC على النحو التالى (اعتبر معامل القدرة (power factor) =1 للتبسيط) :

1- أحمال الإنارة $200 \times 15 W/m^2 = 3000W$ (المساحة 200 م^2)

2- أحمال المخارج العامة = 3000VA

3- الغسالة = 1500VA

4- التكييف $60\ W/m^2 \times 200 = 12000\ W$

5- الفرن الكهربى = 8000 VA

6- مجفف = 5000VA

7- مدفأة = 5000W

أولا : حساب حمل الإنارة والمخارج العامة والغسالة

(3000+3000 + 1500) =7500 VA

ثانيا: الحمل التصميمى للشقة:

$3000 \times 1 + (7500 - 3000) \times 0.35 + 12000 + 8000 + 5000 = 29575$ VA

وبالتالى فالحمل التصميمى لهذه الشقة – الذى بناء عليه سنختار الكابل والـــ CB العموميين للوحة التوزيع الفرعية هذه – يساوى 29575 VA.

لاحظ أن المدفأة والتكييف لا يعملا معا فى وقت واحد، ومن ثم يدخل الأكبر منهما فقط (التكييف) فى الحسابات.

ثانيا الحمل التصميمى بطريقة الحمل المركب الكلى (TCL) :

فى هذه الحالة فإن حمل الشقة يساوى مجموع كافة الأحمال الموجودة بالشقة

$3000 + 3000 + 1500 + 12000 + 5000 + 8000 = 32500$ VA

لاحظ أن الفرق ليس كبيرا بين الطريقتين لأن الشقة صغيرة.

وفى بعض الأحيان تكون الأحمال كلها معلومة ولا نحتاج لفرض قيم ما كما في المثال التالى.

مثال 5 -2

صمم لوحة توزيع لشقة سكنية بها الأحمال التالية.

الإنارة	9000VA
المخارج العامة	3000VA
غسالة	3000VA
سخان-1	1500VA
سخان-2	3500VA
فرن (3-phase)	12000VA
عدد 3 تكييف (كل منها بقدرة)	2200 VA

الحل:

هذا المثال يختلف عن المثال السابق أننا سندرس - بالإضافة إلى اختيار مقطع الكابل العمومى واختيار الـــ CB العمومى – كيفية التوزيع المتزن للأحمال على الأوجه الثلاثة، وكذلك سنحتاج لرسم مخطط للوحة SLD (Single Line Diagram). وهذا كله يتم بالطبع بعد تصـميم الدوائر الفرعية الخاصـة بكل حمل على حدة أولًا.

الخطوة الأولى: تصميم الدوائر الفرعية:

نتائج حسابات الدوائر الفرعية مسجلة فى الجدول التالى.

الحمل	التيار الكلي	عدد الدوائر المقترحة	التيار لكل دائرة (I_L)	1.25 I_L	CB	Cable	
						المقطع	Cable Rating
الإنارة	9000/220 =41A	8 (L1 :L8)	5A	6.25A	10	2*2 mm^2	25
المخارج العامة	3000/220 =14A	2 (P1 : P2)	7	9	16	2*3 mm^2	32
غسالة	3000/220 =14A	1 (P3)	14	18	25	2*4 mm^2	40
فرن	12000/3*220 =18A	1 (P4)	18	22	32	4*6 mm^2	52
سخان-1	1500/220 =7A	1 (P5)	7	9	16	2*3 mm^2	32
سخان-2	3500/220 =16A	1 (P6)	16	20	25	2*6 mm^2	52
تكييف	2200/(220) =10A	3 (A1 :A3)	10	25 (2.5xI_L)	32	2*6 mm^2	52

ملاحظات:

فى معظم المشاريع وبالأخص الخليج يشترط أن يكون أقل مقطع سلك للإنارة 2.5 مم^2 وأقل مقطع سلك للمخارج العامة 4 مم^2

عند اختيار الـ CB الخاص بـ المخارج العامة أو الغسالة مثلا فإنه لم يتم اختيار الـ CB الذى له قيمة أعلى مباشرة من القيمة المطلوبة، بل اختيرت القيمة الأعلى من القيمة المناسبة (على سبيل المثال فى المخارج العامة اختير 16A بدلا من 10A، حيث كان المطلوب قيمة أعلى فقط من 9A)، والسبب كما

ذكرنا فى القواعد العامة إنه يجب اختيار أقرب قيمة قياسية أعلى من المحسوب (سواء للكابل أو للـــــ CB)، ويجوز تجاوز هذه القيمة إلى قيمة أعلى إذا كانت القيمة القياســـية قريبة من القيم المحســـوبة، لاسيما فى هذه النوعية من الأحمال التى يمكن أن تشتمل على محركات صغيرة (مكنسة كهربية مثلا)، وهذا يعنى أن بعض الأحمال ربما يكون لها Starting Current ومن ثم يجب زيادة تيار الـــــ CB المقنن.

الخطوة الثانية: حساب الحمل الكلى للإنارة والمخارج والغسالة (الأحمال التى يحسب لها عامل طلب طبقا NEC:

- Total = 9000 + 3000 + 3000 =15000 VA

الخطوة الثالثة : حساب الحمل التصميمى بطريقة NEC

Design load = 3000 × 1 + 35% (15000 − 3000) + 12000 + 1500 + 3500 + 2200 × 3 = 30800 VA

لاحظ أن الحمل التصميمى بطريقة الـ TCL يساوى 38600 VA (وهو مجموع كل الأحمال الواردة فى رأس المسألة) و الفرق بين الطريقتين قد لا يعتبر كبيراً ضمن مبنى به عدد قليل من مثل هذه الشقة، أما لو كان العدد كبير فسيكون هناك توفير كبير فى الحمل الكلى للمبنى إذا تم الحساب بطريقة الـ NEC.

الخطوة الرابعة : التوزيع المتزن للأحمال

يراعى توزيع الدوائر الفرعية على الـ Phases الثلاثة بحيث تكون قيم التيار متقاربة (ليس بالضرورة أن تكون عدد الدوائر متســـاوية بل المهم أن تكون التيارات الثلاثة أقرب إلى أن تكون متســـاوية) كما فى الجدول 5-10. لاحظ أن أحمال الإنارة تم توزيعها على الفازات الثلاثة.

الخطوة الخامسة : اختيار الـ CB والكابل العموميين:

يتم اختيار مقطع الكابل العمومى وسعة الـ CB بناء على قيمة أعلى تيار فى الـــ 3-Phases التى رتبت فى الجدول 5-10، وهى هنا تساوى 62A. في الخطوة الأولى نختار الـ CB المناسب:

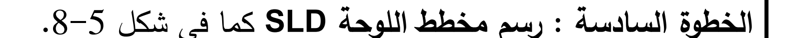
$$I_{CB} = 1.25 \times 62 = 77.5A \Rightarrow CB = 100A$$

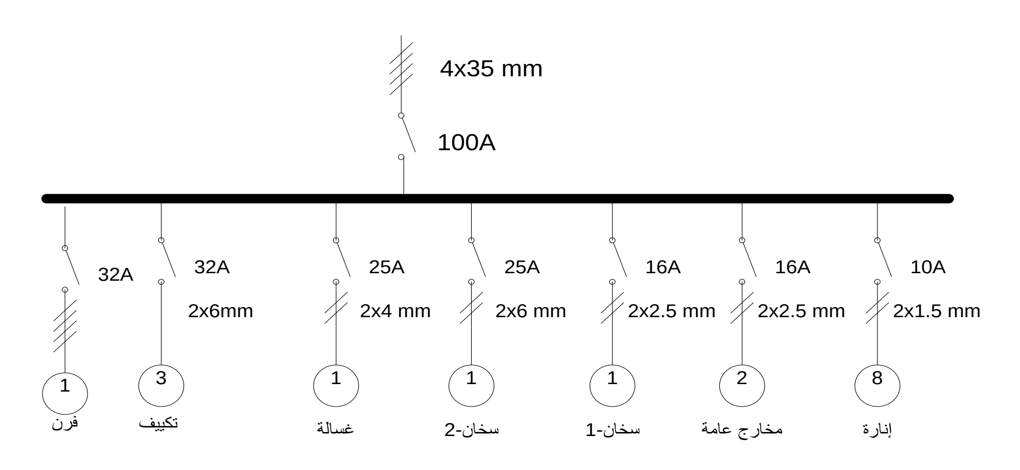
وفى الخطوة الثانية نختار الكابل المناســب . وحســب الجدول 2-5 فى الفصــل الثاني يكون الكابل المناسب هو

$I_{Cable} = 4 \times 35\ mm^2$

جدول 5-10 : التوزيع المتزن لأحمال المثال 5-2

Load	Phase-A	Phase-B	Phase-C
الإنارة	L1:L3=15A	L4:L6=15A	L7-L8=10A
المخارج العامة	P1=8A		P2=8A
غسالة		P3=14A	
فرن	P4=18A	P4=18A	P4=18A
سخان-1	P5 =7A		
سخان-2			P6 =16A
تكييف	A1=10A	A2 =10A	A3 =10A
Total per phase	58A	57A	62A


الخطوة السادسة : رسم مخطط اللوحة SLD كما في شكل 5-8.



شكل 5-8

في الرسم السابق هناك خطأ في طريقة رسم الـ Symbol الخاص بالمفاتيح. ما هو؟

مثال 5-3

المطلوب حساب الحمل التصميمى لشقة سكنية تشتمل على مجموعة أحمال كما فى الجدول 5-11. اختر أيضا الكابل والـ CB العمومى للوحة التوزيع.

الحل:

الأحمال المذكورة حتى الصف-17 فى الجدول 5-11 تمثل الأحمال المعطاة مرتبة وموزعة بصورة متوازنة بين الـ phases الثلاثة، أما الصفوف بعد الصف-17 فتمثل خطوات لحل المسألة بدءا بفرض قيمة الأحمال المستقبلية، إلى تجميع حمل كل الـ phase لتصميم الكابل والـ CB العموميين بناء على أكبر تيار فى الأوجه الثلاثة وتتم جميع هذه العمليات داخل الجدول نفسه .

جدول 5-11 : أحمال وحسابات المثال 5-3

رقم الدائرة الفرعية	اسم اللوحة			
	جهد التشغيل: 415/240 V	قيمة الحمل بالوات		
	الحمل	Ph-A	Ph-B	Ph-C
1	إنارة	1100		
2	إنارة		1100	
3	إنارة			1100
4	إنارة	1100		
5	إنارة		1100	
6	إنارة		1100	
7	إنارة		1100	
8	إنارة		1100	
9	مخارج عامة			1760
10	مخارج عامة	1760		
11	سخان-1		1540	
12	سخان -2			3520
13	غسالة	3080		
14	فرن	3960	3960	3960
15	تكييف		2200	
16	تكييف			2200
17	تكييف	2200		

18	احتياطي	1200		
19	احتياطي		1200	
20	احتياطي			1200
21	فراغ فقط			
22	فراغ فقط			
Total Phase power		14400	14400	13740
Total connected load		(T.C.L)42540		
Max- Current per phase		14400/220 = 65.5A		
$1.25\ I_L$		82 A		
ال CB والكابل العمومي		CB = 100A Cable : 4 x 35 mm^2		

5-5 مشاكل عدم التماثل في لوحات التوزيع

من الواضـــح أن هناك تأكيد دائما على أهمية توزيع الأحمال بالتســـاوى قدر الإمكان على الأوجه الثلاثة. والســؤال : ماذا يحدث لو أهملنا هذا الجزء من التصـــميم، بمعنى آخر **ماذا يحدث لو أن الحمل على أحد الأوجه الثلاثة كان أكبر بكثير من الوجهين الآخرين؟**

إذا حدث هذا فسيترتب عليه عدة مشكلات من أهمها:

5-5-1 حدوث عدم اتزان بين جهود الــ Phases الثلاثة

ويقدر عدم الاتزان حسب نسبة V_2 / V_1 حيث:

V_1 : Positive Sequence Voltage

V_2 : Negative Sequence Voltage

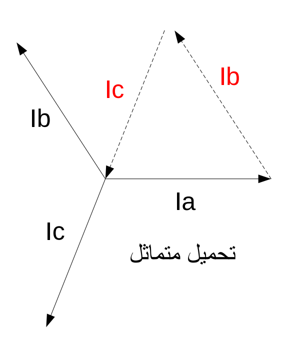
$$V_1 = V_a + a\,V_b + a^2\,V_c \qquad (5-1)$$

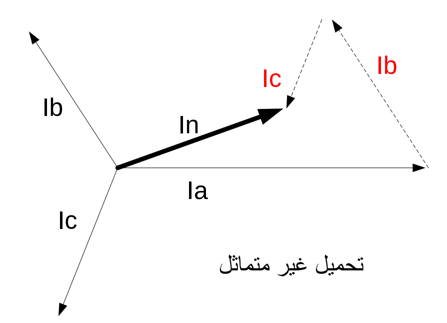
$$V_2 = V_a + a^2\,V_b + a\,V_c \qquad (5-2)$$

ومعلوم أن كل قيمة من القيم السابقة تحسب بدلالة قيم جهود الــ Phases الثلاثة (V_a، V_b، V_c) كما فى المعادلتين (5-1)، و(5-2)، ومن ثم فكلما تباعدت هذه القيم عن حدودها الطبيعية كلما زادت نسبة الــ Unbalance فى الشبكة. وارتفاع قيمة V_2 (Negative Sequence Voltage) هو أحد الأسباب الأساسية لسخونة المعدات بالشبكة فوق المستوى الطبيعي وهى لا تظهر مطلقا إلا فى حالة عدم اتزان توزيع الأحمال.

5-5-2 ارتفاع جهد نقطة التعادل في المحول

فمن المعلوم أن مجموع التيارات الثلاثة المارة بخط التعادل (Neutral Line) يساوى نظريا صفر إذا كانت التيارات متماثلة تماما لأن المجموع الاتجاهي (وليس المجموع الجبرى) لها يساوى صفر كما فى شكل 5-9 (يسار). وهذا يعنى أنه لا يوجد أى Voltage Drop على خط الــ Neutral ومن ثم فجهد نقطة التعادل تساوى صفر. أما إذا اختلفت قيم التيار بشكل كبير بين الأوجه الثلاثة فهذا من شأنه أن يتسبب فى مرور تيار كبير I_n فى خط الــ Neutral (كما فى شكل 5- 9 يمين) مسببا Voltage drop على الخط، وبالتالى يحدث ارتفاع فى جهد نقطة التعادل.





شكل 5-9

هذا الارتفاع يجعل فرق الجهد بين أى من الــ Phases الثلاثة وبين الـ Neutral أقل من القيمة المقننة، وهذا الانخفاض فى الجهد يتسبب فى ارتفاع قيمة التيار. (تذكر أن P = V x I) .

مع ملاحظة أن هذا الارتفاع لن يشعر به الـ CB الخاص بالدائرة لأنه ارتفاع بسيط (كأن يرتفع التيار مثلا من 3A إلى 4A) ومن ثم يمكن أن يؤدى استمرار هذه الحالة لمدة طويلة إلى تراكم حرارى داخل الأجهزة واحتراقها، خاصة تلك المعروفة بأنها Constant Power Devices.

5-5-3 ارتفاع قيمة الـــ Power Loss

فلو فرضنا أن تيار كل Phase يساوى 100 أمبير، وبفرض أن مقاومة الكابل لكل Phase تساوى 0.1 أوم، فهذا يعنى أن الفقد فى القدرة يساوى:

$$3\ I^2 \times R = 3 \times (100)^2 \times 0.1 = 3000\ W$$

الآن : لو فرضنا أن كل تيارات الأوجه الثلاثة (100A+100A+100A) صارت جميعا فى Phase-A فقط (تحميل غير متماثل) فعندئذ تصبح الفقد فى القدرة تساوى

$$2 \times I^2 \times R = 2 \times (300)^2 \times 0.1 = 18000\ W$$

(لاحظ أننا ضربنا الفقد فى 2، لأن التيار فى هذه الحالة يمر فى الموصل الخاص بـ Phase-A، ويكمل الدائرة من خلال موصل خط التعادل الذى أصبح تياره لا يساوى صفرا كما فى حالة الأحمال المتوازنة، بل أصبح يساوى 300A (نفس تيار الـــ Phase، ومن ثم ضربنا فى 2) . لاحظ أن الفقد فى القدرة فى حالة الأحمال الغير متوازنة تضاعف ستة مرات مقارنة بالفقد فى حالة التحميل المتماثل.

5-5-4 احتراق موصل الأرضي بعد فترة من الزمن

لأنه غير مصمم على تحمل التيارات العالية، ومن ثم يحترق أسرع من الـ Phases الثلاثة.

الجزء الثاني : تصميم اللوحات العمومية

الخطوة التالية بعد الانتهاء من تصـــميم جميع اللوحات الفرعية بأنواعها المختلفة (لوحات الإنارة – القوى– التكييف – الطوارئ) هى تصميم لوحات التوزيع العمومية لكل نوع من هذه اللوحات كل على حدة.

وقد يكون المشـروع صـغيراً بحيث يكفى وجود لوحة عمومية واحدة لتغذية كافة اللوحات الفرعية من الأنواع الثلاثة، أى سـتتجمع على هذه اللوحة كافة المغذيات الخاصـة باللوحات الفرعية، وقد نحتاج إلى أكثر من لوحة عمومية كما سيتم شـرحه تفصـيلاً بعد قليل. وكل لوحة من اللوحات السـابقة سـتخرج منها الكابلات المغذية للوحات الفرعية من نفس النوع.

6-5 تغذية اللوحات العمومية

قد يغذى المبنى الواحد من Feeder واحد، ويســمى عندئذ(One-in-take)، فإذا كان الحمل أعلى من 200 kVA فيسمح له بـــ Two Feeders للتغذية، ويسمى (Two-in-take)، أما إذا زاد الحمل عن 400 kVA فإن مؤسسة الكهرباء تلزم المالك بتخصيص مساحة محددة بالمبنى ليوضع فيها محول خاص بالمبنى مرتبط بالشـبكة العامة (ملاحظة : القيم السـابقة مطبقة بالكويت وقد تختلف من دولة لأخرى لكن يظل المبدأ واحدا) . فعلى سبيل المثال فإن الكود المصرى يصنف المباني التى تحتاج لطاقة كهربية على النحو التالى :

- مبنى يحتاج لقدرة تســاوى أو أقل من 200 kVA (مبنى محدود). وتتم تغذيته بكابل من شـبكة ضـغط منخفض على جهد ثلاثى الأطوار) 380/ 220 فولت – 50 هرتز). ويتم تركيب صندوق فى مدخل المبنى (كوفريه) أو صندوق توزيع لربط كابلات الدخول وكابلات الخروج للمبنى.
- مبنى يحتاج لقدرة أكبر من 200 kVA وأقل من 500 kVA (مبنى متوسط).
- مبنى يحتاج لقدرة أكبر من 500 kVA وأقل من 1000 kVA (مبنى عام).

وتتطلب هذه النوعية من المباني غرفة خاصة للمحولات داخل المبنى، وتحتـــوى هذه الغرفة على وحدة توزيع حلقية RMU للجهد المتوسط (11 أو 22 كيلو فولت) و المحول.

أما إذا كان المبنى يحتاج لقدرة أكبر من 2000 kVA (مبنى مركزى) فيلزم مراجعة شـركة توزيع الكهرباء فى المنطقة التى سـيـنشـأ فيها المبنى للتأكد من توفير الطاقة لتغذية المبنى، وهل سـتتم التغذية بغرفة محولات مع RMU، أو من كشك توزيع عمومى، وهل ستستخدم مكثفات تحسين معامل القدرة، وهل يلزم إنشاء موزع Distributor.

ومن القواعد الهامة في هذا الشأن:

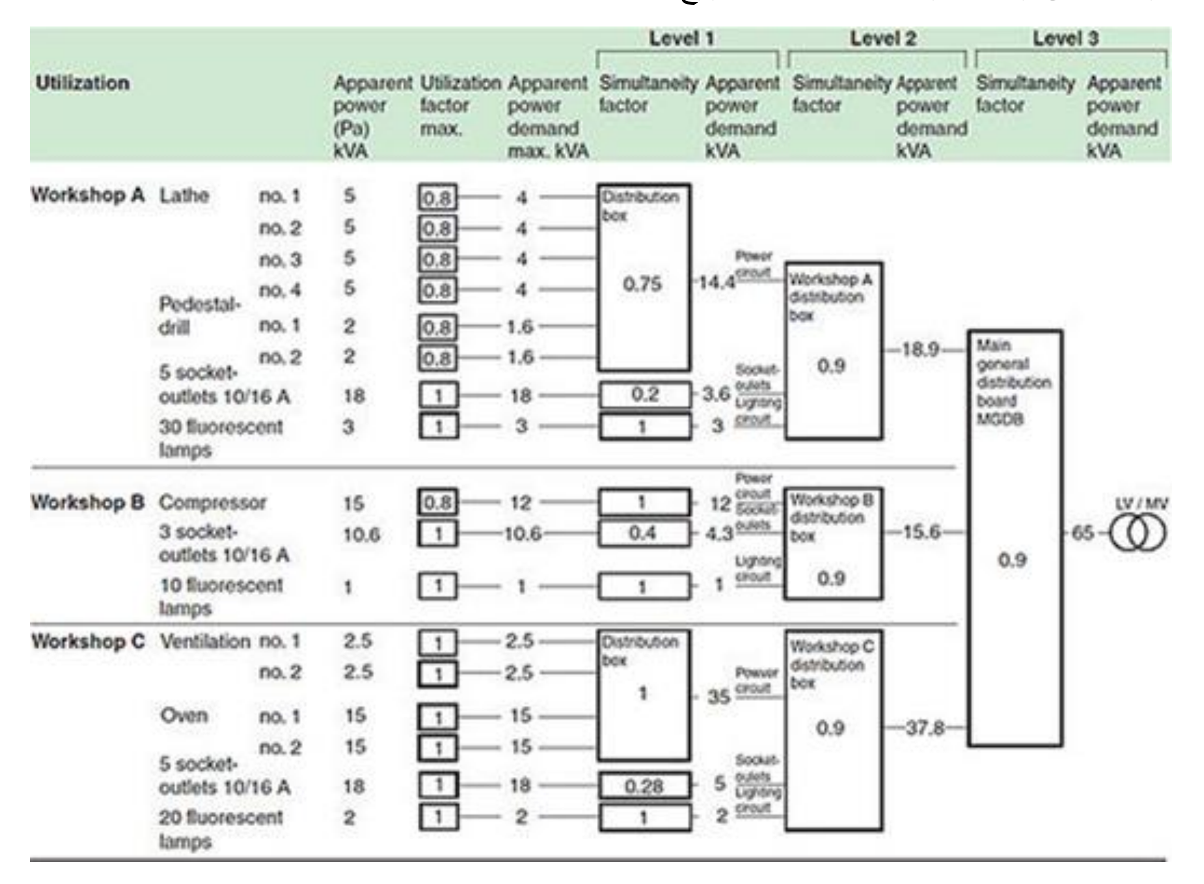
- ❖ يكون الحد الأدنى لسعة القصر SC Capacity مرتبط بقدرة محول التغذية، فعلى سبيل المثال فى حالة المحول قدرة 500 kVA تكون الأحمال المغذاة منه محمية بقواطع CBs تتحمل تيار قصر لا يقل عن 22 kA أما المحول قدرة 1000kVA فيجب حماية الأحمال المغذاة منه بـــ CBs تتحمل تيار قصر لا يقل عن 45 kA، وهكذا حسب قدرة وسعة المحول المغذى لهذه الأحمال.
- ❖ يلزم أن يراعى فى لوحات الضغط المنخفض ترتيب وحساب سعة تيار الـــ CBs، ومراعاة التنسيق (Coordination) للقواطع العمومية ثم القواطع الفرعية من اللوحات الرئيسـية إلى اللوحات الفرعية والتأكد من أن نظام الوقاية قد تم ترتيبه وضبطه لضمان فصل القاطع الأقرب لنقطة العطل أولا، ثم الذى يليه، فالذى يليه فى التتابع حتى القاطع فى اللوحات الرئيسية، لضمان سرعة تفادي الشبكة للأضرار الناتجة من الأعطال.
- ❖ يفضل دائما أن تكون لوحات التوزيع لكل من تركيبات الإنارة وتركيبات القوى مستقلة عن بعضها البعض، وتكون مغذيات كل منها منفصلة عن المغذيات الأخرى.
- ❖ عند تصـميم شـبكة المحولات نسـتخدم قاعدة N-1، ويقصـد بها أن الشـبكة تتحمل خروج أحد المحولات دون مشاكل بأى طريقة من الطرق التي سنناقشها لاحقا، وربما في بعض الأحيان تطبق قاعدة N-2 وتعنى أن الشـبكة تتحمل خروج محولين في وقت واحد، وبالطبع هذا سـيكون على حساب التكلفة المرتفعة.

5-6-1 حساب أحمال اللوحات العمومية

في كثير من الأحيان، وبما أننا قد أخذنا معامل الطلب (DF) فى الاعتبار ونحن نصـمم كل لوحة من اللوحات الفرعية، فالبعض يرى أنه لا داع لعمل أى تخفيض آخر عند حسـاب الحمل التصـميمى للوحة العمومية. وهذا يعنى أن الحمل التصـميمى للوحة العمومية التى تغذى مجموعة لوحات فرعية يسـاوى

مجموع الأحمال المركبة فى اللوحات الفرعية. لكن إذا كان عدد اللوحات كبيرا ولدينا أكثر من محول، فعندئذ يجب تطبيق Diversity Factor أيضا على أحمال المحولات.

والشكل التالى يمثل مثالا لمراحل تطبيق هذه المعاملات على أحمال أحد الورش الكبيرة. لاحظ أن في كل مرحلة يطبق رقما تقديرا حسب طبيعة المشروع.



على سبيل المثال لو أنك مصمم خمس عمارات متشابهة و كل عمارة مكونة من 40 شقة، حمل كل شقة (TCL) يساوي مثلا 10 KVA، فهذا يعني أن الحمل الإجمالي لكل عمارة يساوي 400 KVA ومن ثم فاذا كنت أنت المصمم (الاستشاري) فستختار المغذي والقاطع (CB) الرئيسي لكل عمارة من العمارات الخمس بناء علي حمل القدرة 400 KVA.

لكن عند تقدير الحمل الإجمالي للعمارات الخمس فإنك إذا كنت مهندسا فى مؤسسة الكهرباء فإنك ستعتبر أن حمل الشقة يساوى فقط 8kVA (demand factor = 0.8)، وبالتالي فحمل كل عمارة – من وجهة

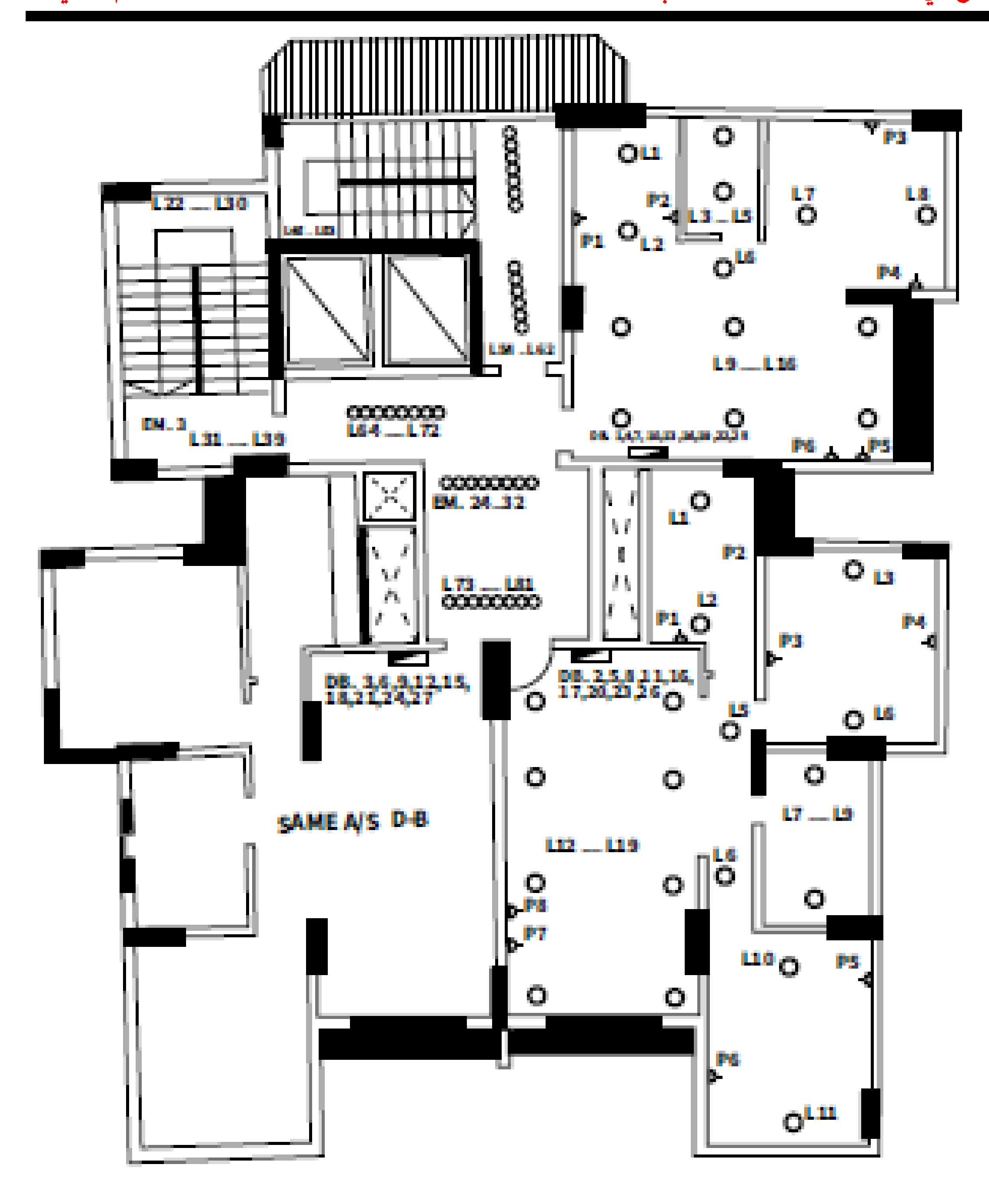
نظر مهندس مؤسسة الكهرباء – يساوى فقط 320kVA، ومن ثم فحمل العمارات الخمسة الكلى يساوى فى هذه الحالة 1600kVA، وربما تأخذ بعد ذلك معامل تشتت Diversity Factor يساوى مثلا 0.7، وهذا بالطبع سيؤثر على إجمالي الأحمال التى يمكن تغذيتها من المحولات الرئيسية بالمنطقة. راجع الفصل الثالث لمزيد من التفاصيل.

5-7 تصميم عمارة سكنية (إسكان متوسط)

سنستعرض هنا مثالا لعمارة من فئة الإسكان المتوسط مكونة من تسعة أدوار + بدروم + أرضي + محلات، فى كل دور توجد ثلاث شقق، بمعنى أن إجمالي الشقق فى العمارة هو 27 شقة. وفى شكل 5-10 تجد المسقط الأفقى للدور المتكرر موزعة عليه أعمال الكهرباء طبقا للرموز القياسية التى أشرنا إليها فى الملحق الأول.

فى هذه العمارة توجد شقتان متماثلتان من بين الثلاث الشقق الموجودة فى كل دور مساحة كل منهما 85 م^2، بإجمالي 18 شقة، وكل شقة من هذه الشقق المتماثلة لها لوحة توزيع فرعية منفصلة، وهذه اللوحات الفرعية تحمل الأرقام.

DB– 2 ،3 ،5 ،6 ،8 ،9 ،11 ،12 ،14 ،15 ،17 ،18 ،20 ،21 ،23 ،24 ،26 ،27



شكل 5-10

أما تفاصـيل أحمال هذه النوعية من الشـقق (مسـاحة $85\ m^2$) فهى موزعة باتزان كما فى الجدول 5-12.

راجع تطابق الرموز وأسماء الأحمال الواردة فى شكل 5-10 مع الأحمال المدونة فى الجدول 5-12.

جدول 5-12 : اللوحات الخاصة بالشقق ذات المساحة 85 m^2

DB- 2 ،3 ،5 ،6 ،8 ،9 ،11 ،12 ،14 ،15 ،17 ،18 ،20 ،21 ،23 ،24 ،26 ،27

4 WAYS TPN with ELCB 40A/30mA 4P							
Circuit No.	Ph	Cable (mm^2)	MCB (A)	Description	Load per phase in (W)		
					R	Y	B
1	R	1.5	10	L10 : L19 (10x100) W	1000		
	Y	2.5	15	P1=200 P2 = 800W (Kitchen)		1000	
	B	1.5	10	) L1شفاط : L9 + EX (1:2 (11 x 100) W			1100
2	R	2.5	15	P7 : P8 (2 x 200) W	400		
	Y	2.5	15	W.H-2 with 15A DP SW		1200	
	B	2.5	15	P3 – P4 (2x200) W			400
3	R	2.5	15	A.H.U with 20A DP SW	900		

	Y	2.5	15	P5 : P6		400	
	B	2.5	15	W.H-1 with 20A DP SW. مفتاح فصل وتوصيل وليس للوقاية			1200
4	R	4	20A TP	ISOL 20A TP for A/C (5.631 kW) = 40700 BTU	1877		
	Y	4				1877	
	B	4					1877
Total Connected Load kW = 13.231					4177	4477	4577

والرموز الواردة فى الجدول السابق يتم تفسرها في جدول 5-13:

جدول 5-13

4 ways	تعنى أن اللوحة مقســـمة إلى أربع مجموعات من المفاتيح (4 circuit group)، كما في الجدول 5-12.
TPN	تعنى Three Phase and Neutral.
ELCB	تعنى Earth Leakage Circuit Breaker.
40A/30mA 4P	تعنى أن أقصى تيار للـــ ELCB هو 40A، و أن حساسية الجهاز هي 30mA، وإنه 4-Poles.
W.H	تعنى Water Heater أى سخان المياه.
DP SW	تعنى مفتاح من النوع الـــــ Double Pole Switchوهو المفتاح الذى يمكنه قطع الـPhase، وأيضا الـ Neutral، بعكس المفاتيح العادية التى تفصل الـ Phase فقط.

EX	شفاط Exhaust
A.H.U	تعنى Air Handling Unit وهى الوحدة التى توضع داخل الشقة لتوزيع الهواء (وهى تختلف عن الـ Compressor Unit التى توضع غالبا فوق السطوح أو خارج الشقة سواء فى التكييف المركزى أو وحدات الـ Split).

أما الشقة الثالثة فى كل دور من الأدوار التسعة فهى أصغر حجما (60 $م^2$)، وتغذى من لوحات التوزيع أخرى تحمل الأرقام : 1 –DB، 4، 7، 10، 13، 16، 19، 22، 25. وتفاصيل أحمال هذه الشقة الصغيرة ممثلة فى الجدول 5–14.

جدول 5–14 : خاص بالشقق ذات المساحة $60m^2$

1 –DB، 4، 7، 10، 13، 16، 19، 22، 25

4 WAYS TPN with ELCB 40A/30mA 4P							
Cir No.	Ph	Cable (mm^2)	MCB A	Description	Load per phase in W		
					R	Y	B
1	R	1.5	10	L7 : L14 (8 x100)	800		
	Y	1.5	10	P1 (1 x 100) + P2 (500W) KIT		600	
	B	1.5	10	L1: L6 + EX 1–2			800

2	R	2.5	15	P5 : P6	200		
	Y	2.5	15	W.H-1 with 15A SW		1200	
	B	2.5	15	P3 : P4 (2 x 100)			200
3	R	2.5	15	Spare	----		
	Y	2.5	15	Spare		----	
	B	2.5	15	AHU with 20A DP SW			400
4	R	4	20A TP	ISOL 20A TP for A/C (4.54 kW) = 33500 BTU/hr	1513		
	Y	4				1513	
	B	4					1513
Total Connected Load kW = 8.739					2513	3313	2913

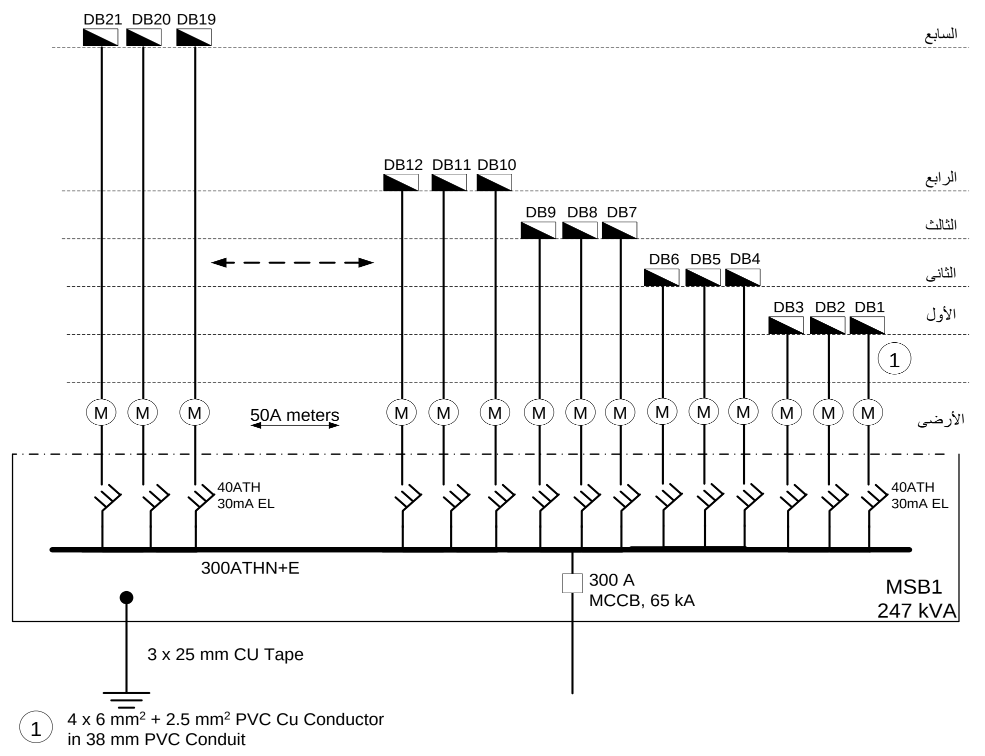
5-7-1 تصميم اللوحات العمومية بالعمارة

قبل تصميم اللوحات العمومية لهذه العمارة نشير إلى أنه عند تصميم اللوحات العمومية للمباني الكبيرة فإن تغذية اللوحات الفرعية لا تكون غالبا من لوحة عمومية واحدة إذا كان عدد اللوحات الفرعية كبيرا، بل توزع اللوحات الفرعية على لوحتين رئيسيتين على الأقل. و ليس بالضرورة أن توزع الأحمال بينهما بالتساوى، لكن من المهم أن توزع بصورة متزنة على الأوجه الثلاثة فى كل منهما.

وفى هذه العمارة كان لدينا لوحتان عموميتان رئيسيتان هما MSB-1 و MSB-2 :

اللوحة العمومية الأولى (MSB–1) :

هذه اللوحة العمومية تغذى اللوحات الفرعية من DB–1 إلى DB–21 كما فى شكل 5–11.



شكل 5–11

وتفاصيل أحمال هذه اللوحة العمومية موجودة بالجدول 5–15.

جدول 5–15 : اللوحة العمومية الأولى MSB–1

Load	R	Y	B	TCL
DB–1	**2513**	**3313**	**2913**	8739
DB–2	4177	4477	4577	**13231**

DB-3	4477	4577	4377	**13431**
DB-4	**2913**	**2513**	**3313**	8739
DB-5	4577	4177	4477	**13231**
DB-6	4377	4477	4577	**13431**
DB-7	**3313**	**2913**	**2513**	8739
DB-8	4477	4577	4177	**13231**
DB-9	4577	4377	4477	**13431**
DB-10	**2513**	**3313**	**2913**	8739
DB-11	4177	4477	4577	**13231**
DB-12	4477	4577	4377	**13431**
DB-13	**2913**	**2513**	**3313**	8739
DB-14	4577	4177	4477	**13231**
DB-15	4377	4477	4577	**13431**
DB-16	**3313**	**2913**	**2513**	8739
DB-17	4477	4577	4177	**13231**
DB-18	4377	4377	4477	**13431**
DB-19	**2513**	**3313**	**2913**	8739

13231	4577	4477	4177	**DB-20**
13431	4377	4577	4477	**DB-21**
247807	**83069**	**86569**	**78169**	**TCL**

اللوحة العمومية الثانية (MSB-2) :

هذه اللوحة تغذى اللوحات الفرعية من DB-22 إلى DB-27، بالإضافة إلى تغذية جميع الأحمال العامة بالعمارة كما هو واضح من الجدول 5-16.

وهذه الأحمال العامة تضم :

- المحلات (لدينا محل واحد مغذى من لوحة اسمها DB-Shop) .
- مضخة حريق (لدينا مضخة FFP قدرتها 6 kW).
- لوحة الخدمات SMSB الرئيسية.

الجدول 5-16 : واللوحة العمومية الثانية MSB-2

TCL	B	Y	R	Load
8739	2913	3313	2513	DB-22
13231	4577	4477	4177	DB-23
13431	4377	4577	4477	DB-24
8739	3313	2513	2913	DB-25
13231	4477	4177	4577	DB-26

DB-27	4477	4577	4377	13431
DB-SHOP	2300	3500	3100	8900
FFP	2000	2000	2000	6000
SMSB	11200	10100	12220	33520
TCL	**37834**	**40334**	**41054**	**119222**

ولوحة الخدمات الرئيسية SMSB هى لوحة عمومية صغيرة ضمن اللوحة العمومية الثانية لتغذية :

- المصاعد (لدينا هنا مصعدين Lift-1 و Lift-2 قدرة كل منهما 6 kW) .
- إنارة السلم والمداخل من خلال (لوحة DB-G) .
- إنارة البدروم من خلال (لوحة DB-B).

وتفاصيل أحمال لوحة الخدمات الرئيسية موجودة بالجدول 5-17.

جدول 5-17 : لوحة الخدمات SMSB

Load	R	Y	B	TCL
DB-B	2100	1900	2200	6200
DB-G	5100	4200	6020	15320
Lift-1	2000	2000	2000	6000
Lift-2	2000	2000	2000	6000
TCL = 33520	11200	10100	12220	33520

ملاحظات:

- لاحظ أنه رغم أن اللوحات : 1 –DB، 4، 7، 10، 13، 16، 19، 22، 25، وهى اللوحات المغذية للشقق مساحة 60 م^2 متشابهة تماما، لكننا نغير من طريقة تغذية الـ Phases الثلاثة لها، بحيث يغذى الـ Phase الأول فى اللوحة DB–1 مثلا (حمله يساوى 2513 W) من Phase–R فى اللوحة العمومية الأولى، لكنه فى اللوحة DB–4 (والتى تتشابه تماما مع اللوحة DB–1) سنجده يغذى من Phase–Y، ثم نجد نفس هذا الـ Phase فى اللوحة DB–7 يغذى من Phase–B، وذلك حتى نضمن أعلى درجة من درجات التوزيع المتماثل، وهذا مطبق على كافة اللوحات المتماثلة فى الجدولين السابقين.
- الشقة مساحة 85 م^2 تحتاج حمل تكييف يقدر بحوالى 40700 BTU/HR وهو يساوى تقريبا 3.39 طن تبريد، وقد استخدم فيها مكيف قدرة 5.63 kW وهو ما يعادل تقريبا 1.6وات/طن تبريد.
- فى حين أن الشقة ذات الـ 60 م^2 تحتاج إلي 33500 BTU/HR ونستخدم لها مكيف بقدرة 4.5 kW.
- يمكن مراجعة تقديرات الـ W/m^2 الخاصة بالتكييف وذلك بجمع إجمالي القدرة المخصصة للتكييف فى الأدوار التسعة ثم نقسمها على إجمالي مساحات الشقق الثلاثة فى كل دور مضروبة فى 9 أدوار $((60m^2+(85m^2\times2))\times9 = 2070\ m^2)$ ويضاف إليها مساحات الـ Lobby فى الأدوار التسعة (9 X21) وستجد أن ناتج القسمة يساوى تقريبا $62W/m^2$ وهو قريب من الحمل التقديرى للتكييف فى الشقق السكنية المذكور فى الفصل الثالث.
- تقدير و مراجعة القيمة النهائية لأحمال التكييف هى مسئولية مهندس التكييف وليس مهندس الكهرباء.
- الحمل الكلى للعمارة (حمل اللوحتين العموميتين) وصل إلي

$$247.807 + 119.222 = 367.029\ kVA$$

وهو أقل من الحمل الذى يستلزم معه تخصيص محول للعمارة (400 kVA بالكويت) ، ومن ثم فيمكن تغذية هذه العمارة من كابلين من أقرب محول عمومى.

ملاحظة:

إذا لم يكن متاحا فى أقرب محول عمومى أن تجد كابلين مناسبين لهاتين اللوحتين العموميتين، فعندها قد يضطر المصمم إلى تقسيم الحمل على 3 لوحات، أو قد يضطر المصمم لاستخدام محول 500 كيلو فولت أمبير خاص بالمبنى، وبالتالى سيتوجب عليه وضع لوحة رئيسية MDB بعد المحول.

5-7-2 ملاحظات علي تصميم اللوحات للعمارة

اتبع فى تصـميم اللوحة العمومية لهذه العمارة طريقة أن تغذى اللوحة الفرعية الخاصـة بكل شـقة من خلال كابل منفصل يخرج مباشرة من اللوحة العمومية إلى الشقة كما فى الشكل 5-11 الذى يمثل مخطط اللوحة العمومية الأولى MSB-1 الخاصة بالعمارة.

لاحظ فى شكل 5-11 ما يلى:

- أن كل دور به ثلاث شقق – كما ذكرنا – وأن كل شقة قد خصص لها كابل نحاس ثلاثى منفصل مقطعه $4 \times 6\ mm^2$ معزول بـ PVC داخل ماسورة مقطعها 38 ملم.
- أن كل العدادات الخاصة بالشقق (عداد بقوة 50 أمبير لكل شقة) قد تم تجميعها فى الدور الأرضي بجوار اللوحة العمومية حتى لا يضطر قارئ العداد لدخول الشقة لتدوين قراءة العداد.
- أن الـ CB العمومى للكابل الخاص بكل شقة مزود بـ ELCB ذى حساسية قدرها 30mA.
- أن لوحة التوزيع العمومية لها أرضي منفصل وأنها تتصل بهذا الإلكترود من موصل أرضي عبارة عن شريط نحاسى Cu Tape مقطعه 3 x 25 mm.
-

5-7-3 أسلوب آخر في تصميم العمارات السكنية

الأسـلوب الذى اتبع فى تصـميم اللوحة العمومية فى المثال التالى هو أسـلوب اقتصـادى مختلف عن المثال السابق، وهو الأسلوب الذى يظهر مخططه فى شكل 5-12. هذا المخطط يمثل عمارة سكنية مكونة من 11 دور وبكل دور يوجد 6 شقق. وبالإضـافة للشقق السكنية فإنه يوجد 6 لوحات لمحلات ويوجد أيضـا 3 لوحات للخدمات كما هو واضـح بالشـكل. وجميع أحمال هذه العمارة تم تغذيتها من لوحة عمومية واحدة.

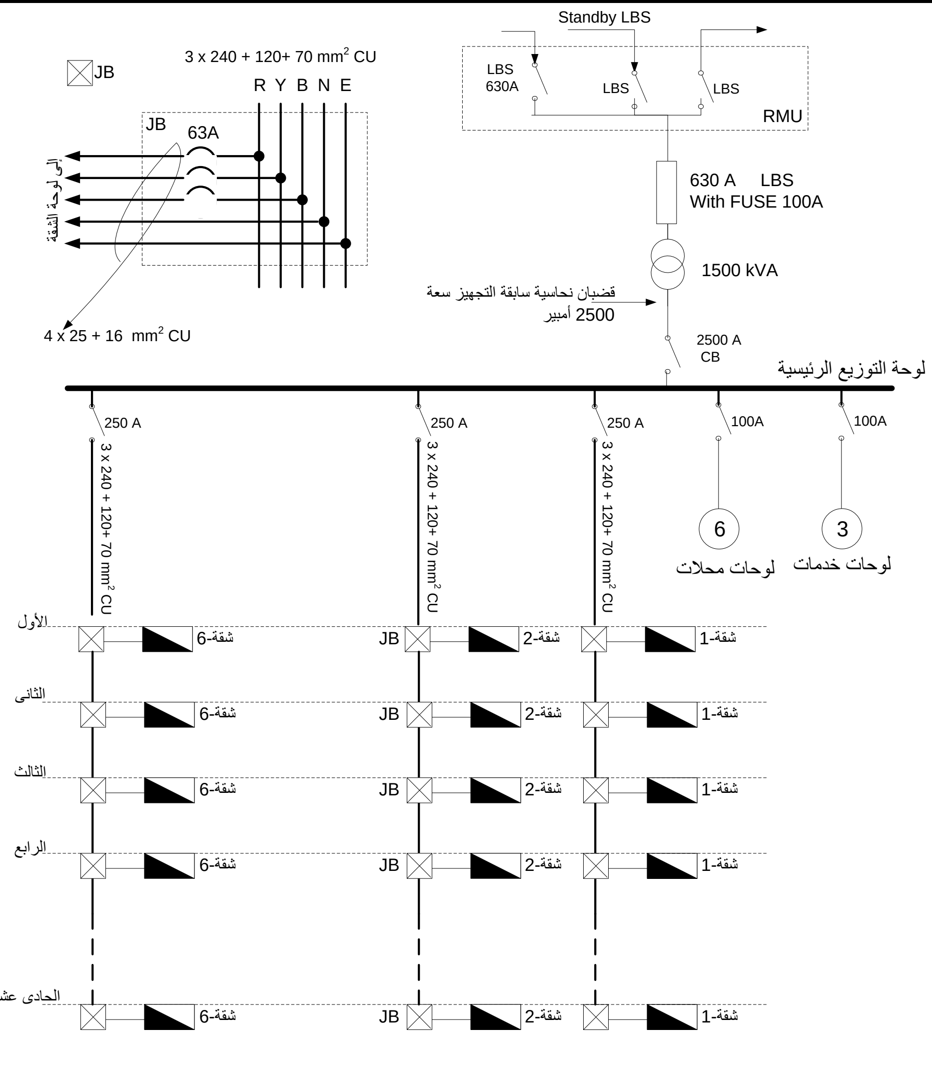
مجموع الأحمال فى هذه العمارة اســـتلزم وجود محول خاص بقدرة 1500 kVA، وتمت تغذيته من خلال RMU كما فى الشكل 5-12 (راجع الجزء الأول من الفصل الثاني لمزيد من التفاصيل الخاصة بلوحات الـ RMU) .

وفى هذه العمارة تم تغذية الشـقق كما ذكرنا بطريقة مختلفة عن الطريقة الأولى، حيث قسـمت الشـقق بالعمارة إلى 6 مجموعات (ظهر منهم 3 فقط في الشـكل 5-12)، واسـتخدم صـاعد Feeder خاص لكل مجموعة من المجموعات السـتة مقطعه فى هذا المثال هو $3 \times 240 + 120 + 70\ mm^2$ و يغذي كل صـاعد عدد (11 شـقة) بمعدل شـقة واحدة بكل دور، فالشـقة الأولى في كل دور موصـلة على الصـاعد الأول وهكذا، ثم تم عمل تفريعة داخل صـندوق اتصـال Junction Box أمام كل شـقة من هذه المجموعة، ليتم تغذية الشـقة بكابل فرعى مقطعه $4 \times 25 + 16\ mm^2$ كما هو واضـح من شكل 5-12.

هذه الطريقة تعتبر أكثر اقتصاديا من الطريقة الأولى المرسومة فى شكل 5-11، لكنها تحتاج لتنسيق (Coordination) محكم بين الــ CB داخل لوحة كل شقة وبين الــ CB فى صندوق الاتصال خارج الشقة، بالإضافة إلى التنسيق مع الـــ CB العمومى للصاعد فى اللوحة العمومية من أجل ضمان أن أى عطل داخل الشقة لن يؤثر على بقية الشقق. ومن أهم عيوب هذا الأسلوب صعوبة عمل التفريعات فى الصاعد العمومى.

ويمكن بالطبع عمل تخفيض فى مقطع الصـاعد الرئيسـي – على الأقل مرة واحدة – وليكن فى الدور السـابع مثلا، فالأحمال المتبقية لا تحتاج للمقطع الرئيسـي الكبير. لكن هذه العملية لابد أن تتم بطريقة سـليمة حتى لا تصـبح هذه الوصـلة مصـدرا لكثير من المشـاكل من قبيل حدوث Hot spot عند هذه الوصـلات.

والبعض قد يسـتخدم تفريعتين داخل كل صـندوق اتصـال من أجل تقسـيم الشـقق إلى ثلاث مجموعات بدلا من ستة، وهذا بالطبع أكثر اقتصـادا لكنه أقل فى الاعتمادية. وعموما فهذا الأسلوب غير مفضل لدى الكثير من الاستشاريين لكثرة مشاكله العملية وبسبب تجميع هذا الحمل الكبير على لوحة واحدة.



شكل 5-12

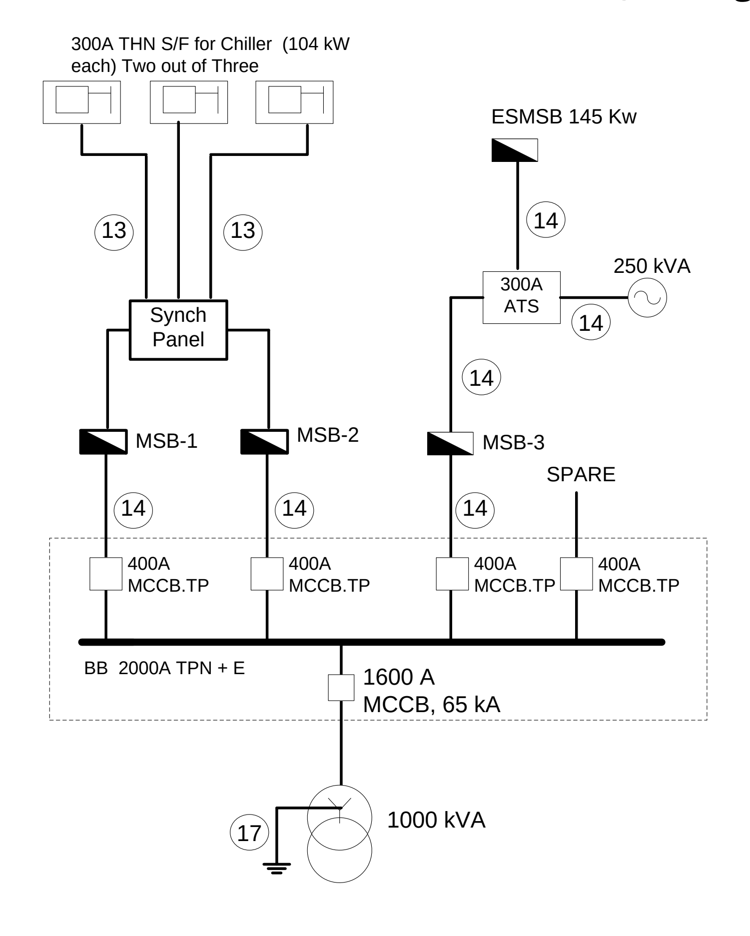
5-8 اللوحات العمومية لبرج إداري

فى هذا الجزء من الكتاب سنعرض لتصميم لوحات التوزيع الخاصة ببرج إدارى مكون من 20 طابق. وهذا المثال سيتم عرضه بصورة أكثر تفصيلا من الأمثلة السابقة.

و قد تم تصـــميم منظومة الكهرباء بالبرج بحيث تتكون من لوحة عمومية رئيسـية للجهد المنخفض Main Low Tension Panel، (MLTP) كما فى شـــكل 5-13. وهذه اللوحة الرئيســية تغذي ثلاث لوحات

عمومية أخرى Main Switch-Board هي:MSB-1 و MSB-2 و MSB-3، ثم تقوم كل لوحة من اللوحات الثلاثة بتغذية مجموعة من اللوحات الفرعية بالأدوار المختلفة كما سيتم شرحه تفصيلا.

وهناك أيضـا لوحة الطوارئ العمومية Emergency System Main Switch-Board (ESMSB) التي تغذى من اللوحة العمومية الثالثة MSB-3، ويمكن أن تغذى فى نفس الوقت من مولد ديزل قدرة 250 kVA كما فى الشكل من خلال ATS.



شكل 5-13

نشـير هنا إلى أن الأرقام المكتوبة داخل دوائر على الخطوط الممثلة للكابلات فى اللوحة السـابقة واللوحات التالية تعبر عن المعلومات الخاصة بمقطع الكابل، بالإضافة إلى أسلوب تمديد الكابل، وذلك طبقا للتعريف التالي في جدول 5-18 :

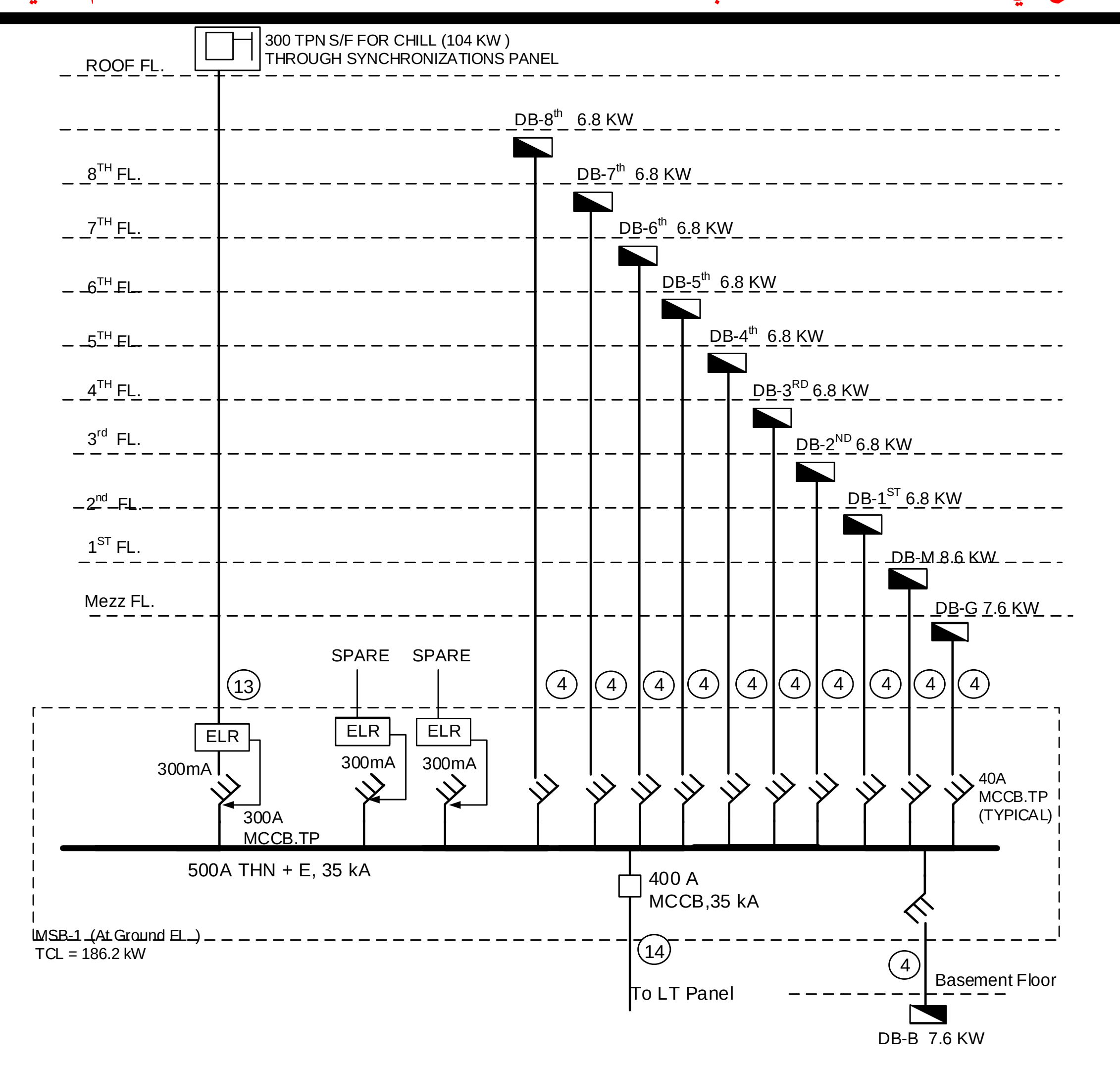
جدول 5-18

الرقم	التوصيف
4	4 x 16 + 10 mm^2 PVC in 38 mm PVC Conduit.
8	4Cx 25 mm^2 Cu on cable tray
13	4C x 185mm^2 Cu on cable tray
14	4C x 240 mm^2 Cu on cable tray.
17	3 x 25 mm Cu Tape.

و كما ذكرنا فإن اللوحة العمومية الرئيسية MLTP تغذي كما هو واضح بالرسم ثلاث لوحات عمومية هم:

اللوحة العمومية الأولى (MSB-1) :

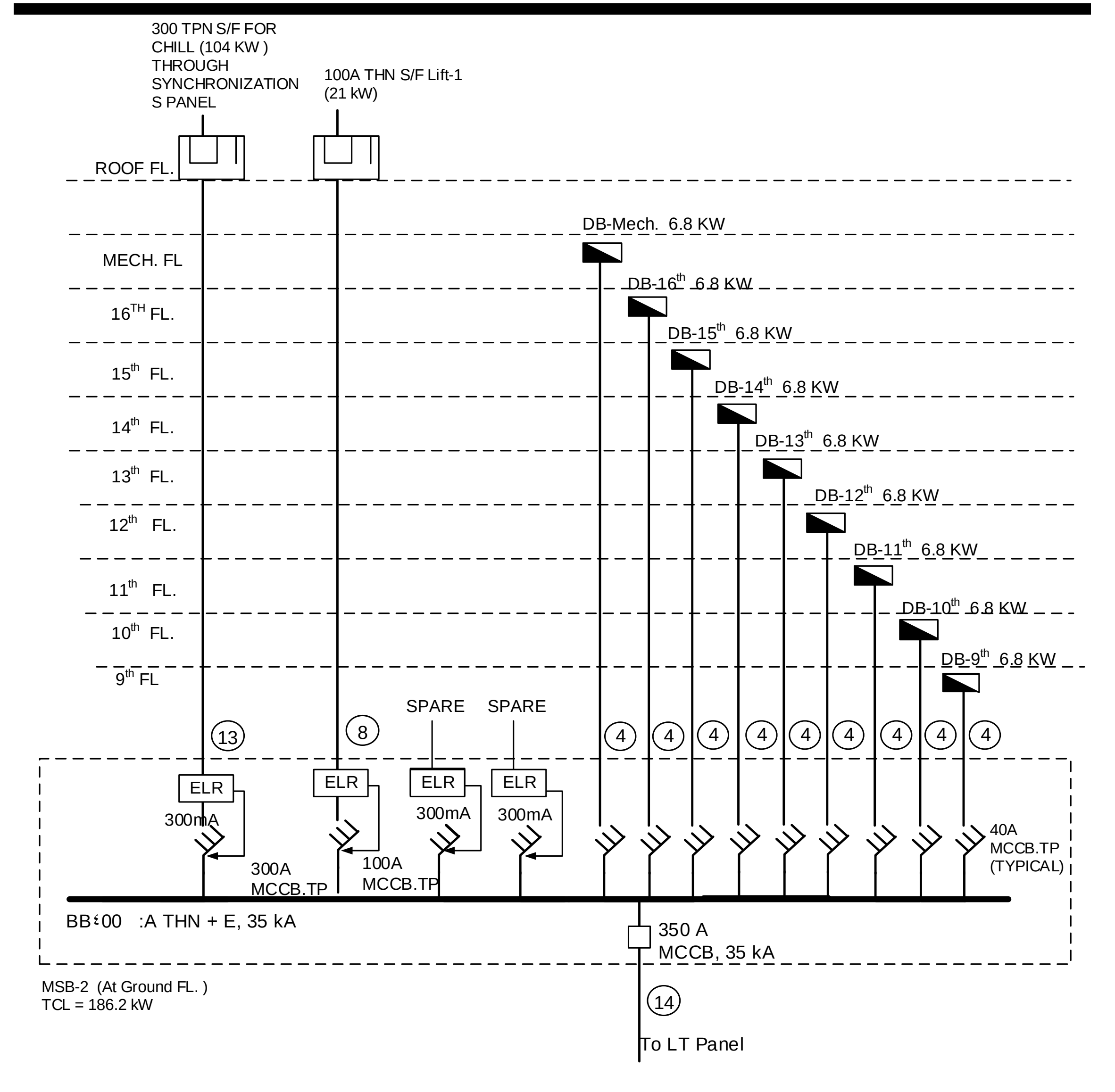
وهى لوحة عمومية تغذى اللوحات الفرعية بالأدوار من 1- 8 إضافة إلى اللوحات الفرعية بالدور الأرضي والميزانيين (mezzanine) والبدروم، وكذلك تغذى إحدى مكينتى التكييف الرئيسيتين كما في شكل 5-14. والميزانيين هو طابق منخفض بين طابقين آخرين في مبني، وعادة ما بين الأرض والطوابق الأولي.



شكل 5-14

اللوحة العمومية الثانية (MSB-2) :

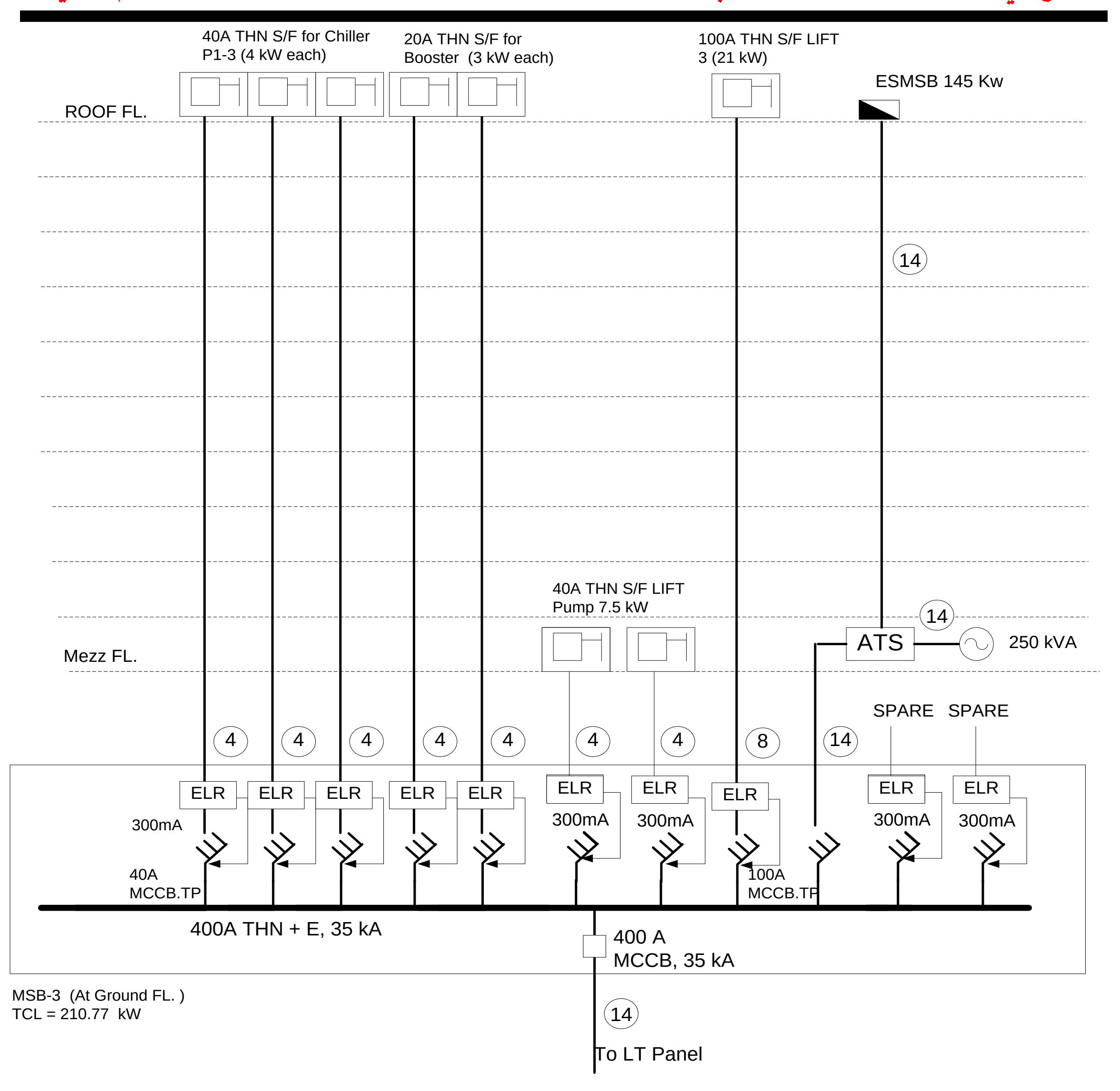
وهذه اللوحة تغذى اللوحات الفرعية بالأدوار من 9 إلى 16، وتغذي كذلك اللوحة الفرعية بالسطوح، وإحدى ماكينتى التكييف، واحد المصاعد الثلاثة كما فى شكل 5-15.



شكل 5-15

اللوحة العمومية الثالثة (MSB-3) :

وهي اللوحة المرسومة في شكل 5-16، وتغذي مضخات المياه الخاصة بالتكييف، وبعض الأحمال الخاصة بالمصاعد، بالإضافة إلى أنها تغذى لوحة الطوارئ الرئيسية العامة للمبنى ESMSB.



شكل 5-16

اللوحة الطوارئ الرئيسية (ESMSB) :

وهذه اللوحة (ESMSB) يتجمع فيها كافة أحمال الطوارئ بالبرج، ومثبتة فى مكان فوق السطوح لأنه المكان الأقرب لتجمع أكبر عدد من أحمال الطوارئ، ويتم تغذيتها من خلال ATS مرتبط بمولد التغذية الاحتياطية والمقدر قيمته بـ 250 kVA.

ملحوظات :

1- توجد ثلاث مكينات للتكييف Chillers مربوطة على لوحة تزامن Synchronization Panel تغذى بكابلين من اللوحتين MSB-1 وMSB-2، بحيث تعمل ماكينتين منهم فقط وتترك الثالثة كاحتياطية.

2- فى حالة الأبراج العالية هذه فإن هناك عنصرين جديدين يكثر استخدامهما وهما :

a. الأول : نوع التكييف الذى يكون غالبا مكونا من Water Chillers، وليس من وحدات خاصة بكل شقة. وقد استخدم فى هذا المشروع وحدتين Water Chillers كبيرتين قدرة كل منها 104 kW لتغذية المبنى، وهذا النوع من التكييف يكون أكثر كفاءة وأكثر اقتصاديا، مع ملاحظة أن استهلاك الكهرباء الخاصة بهذه الوحدات سيكون محسوبا بعداد خاص للمبنى كله كوحدة واحدة، وبالتالى لا يظهر حمل التكييف فى اللوحات الفرعية بالأدوار، إلا وحدة AHU الخاصة بتحريك الهواء فى كل دور أو مكتب فهى فقط التى ستظهر قدرتها ضمن أحمال اللوحات الفرعية. وسنحتاج بالمثل إلى عدادات عمومية للمصاعد والمضخات وذلك على خلاف المثال السابق الذى قدمنا فيه نموذجا لعمارة (الإسكان المتوسط) حيث وضع عداد خاص بكل شقة لقياس كافة الأحمال بما فيها التكييف. ويمكن الرجوع لنهاية الفصل الثالث لمزيد من المعلومات عن هذه النوعية من أجهزة التكييف.

b. الثاني : أن أحمال وحدات الـ Chillers وكذلك مكينات المصاعد موجودة فوق سطوح المبنى، وهى أحمال ذات قدرة كهربية عالية، و تحتاج لعدد كبير من الكابلات المتوازية التى تصعد من الدور الأرضي إلى السطوح، مما يستلزم تخصيص مساحات لتركيب هذه الكابلات، بالإضافة إلى عدم كفاءة هذا الأسلوب، ومن ثم فالأفضل فى هذه الحالة استخدام الـ Bus Duct فقط لتغذية هذه المجموعة من الأحمال. وربما فى حالة ارتفاع أحمال وحدات الـ chillers عن المسموح يوضع محول أو أكثر على السطح لتغذيتها وهو الأسلوب الأكثر اقتصاديا والأعلى اعتمادية.

وبما إنه عمليا لا يفضل استخدم نوعين من الموصلات (كابلات و Bus Duct) فى وقت واحد ومن ثم فإنه يفضل استخدام نظام الـ Bus Duct لكافة الأحمال بالمبنى بما في ذلك

اللوحات الفرعية بكل دور، وهذا يعنى أننا إذا حسـمنا المقارنة بين خيار الكابلات و خيار الـ Bus Duct لصالح الـ Bus Duct وهذا يعنى أننا سنستخدم Bus Duct رئيسى يتفرع منه عند كل دور (بواسطة Tap-off) كابل فرعى لتغذية اللوحة الفرعية الخاصة بالدور.

3- يفضـل دائما عند رسـم المخططات (كما فى الأشـكال السـابقة) أن تظهر على هذه المخططات أكبر قدر من المعلومات من قبيل حمل اللوحة الفرعية، و مكان تثبيتها، و تفاصـيل الكابلات، و الـCBs المستخدمة مع اللوحات.

5-8-1 أحمال الشتاء والصيف

فى بعض المباني المميزة مثل البنوك والمكاتب الهامة يعمل التكييف صيفا على البارد و يعمل على الساخن شتاء، وبالطبع فالحمل فى الحالتين غير متساوى، وفى هذه الحالة يجب أن يحسب إجمالي أحمال اللوحات العمومية فى الصيف، وإجمالي الأحمال فى الشتاء، ويؤخذ الأكبر منهما عند حساب الحمل الكلى (وهو بالطبع حمل الصيف لأن قدرة Compressor التبريد تكون دائما أعلى من قدرة السخان المستخدم فى التسخين فى الشتاء).

ولكن هذا لا يعنى أن أحمال الصيف دائما أكبر من أحمال الشتاء لأن هناك أحمالا أخرى تكون فى الشتاء أكبر منها فى الصيف مثل أحمال سخانات المياه، فهى تضاف بنسبة 80% فى الشتاء، بينما تضاف بنسبة 30% فقط فى الصيف. أيضا هناك الدفايات تضاف فقط فى الشتاء إذا لم يكن هناك تكييف ساخن. أما بقية الأحمال مثل الإنارة والمخارج العامة فهى ثابتة صيفا وشتاء دون تغيير، ولذا يحسن أن يتم عمل جدول لتحليل الأحمال صيفا وشتاء للوصول للأكبر منهما.

الجزء الثالث : ربط المشروع بشبكات التغذية العامة

5-9 أمثلة لربط المشاريع بالشبكة الكهربية العامة

بعد الانتهاء من تصميم اللوحات العمومية تكون قد بقيت خطوة أخيرة وهى تصميم شبكة التغذية التى تربط كافة اللوحات العمومية فى المشروع بشبكة المدينة التى يقع بها المشروع. وكما ذكرنا في الفصل الثاني، فإنك ستحتاج إلى الإجابة عن الأسئلة التالية لتحسم طريقة توصيل المشروع بالشبكة العامة:

1- ماذا لو خرجت إحدى دوائر التغذية جهة الجهد المتوسط؟

2- ماذا لو خرج محول من الخدمة؟

3- ماذا لو حدث عطل في أحد كابلات الـ Outgoing Feeders ؟

وستختلف طريقة ربط المشروع بالشبكة العمومية للمدينة حسب القدرة الإجمالية للمشروع، وحسب أهمية المشروع والميزانية المرصودة له. وفى الأجزاء التالية سنتعرف على أشهر هذه الطرق.

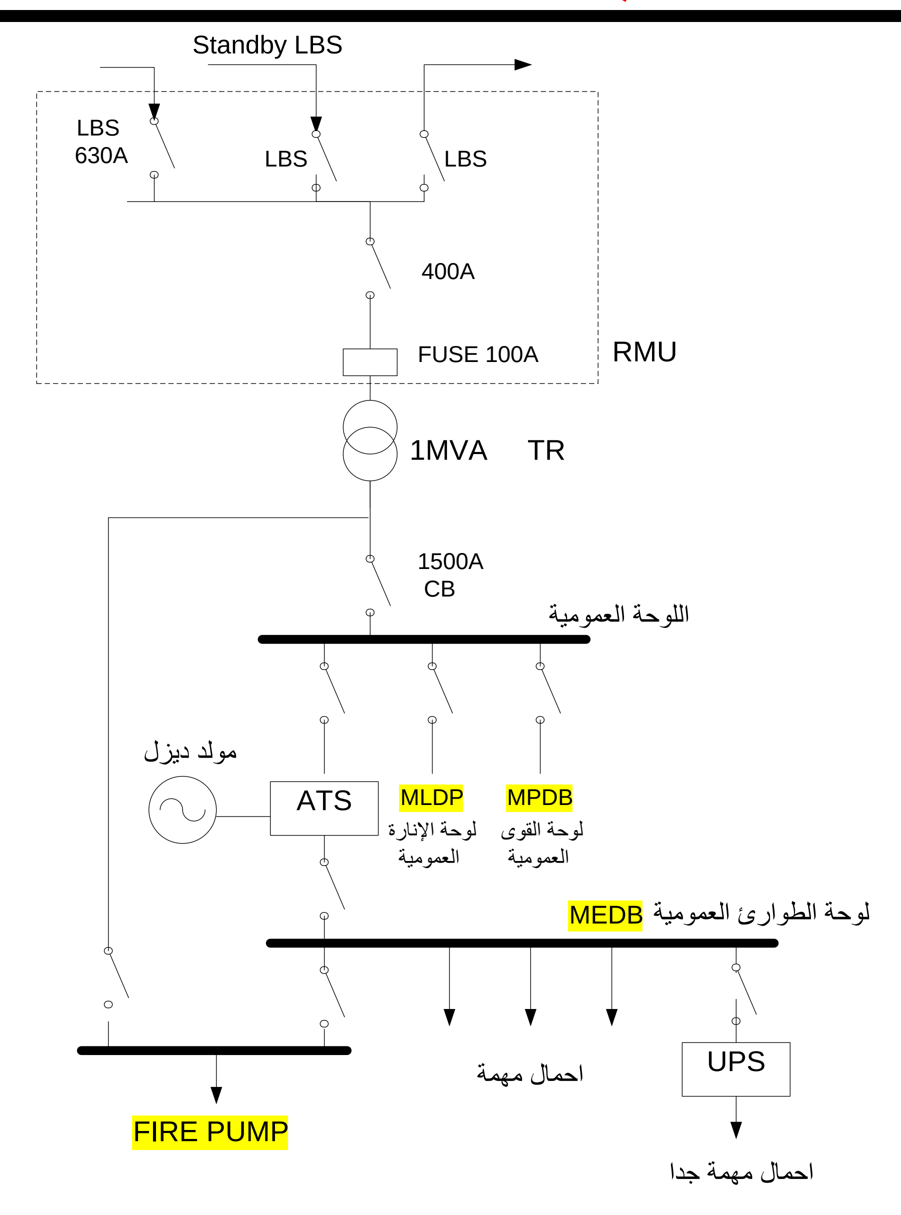
5-9-1 مشروع مكون من محول واحد 1 MVA

فى هذه الحالة تتم تغذية المشروع من خلال Ring Main Unit (RMU) واحدة. (راجع الفصل الثاني لمزيد من المعلومات عن هذه اللوحة). وشكل 5-17 يوضح مخطط لتغذية أحمال هذا المشروع ويليه مخطط حقيقى لمحول قدرة 1000 kVA.

في هذه الحالة يكون الـ CB فى Low Voltage Side قيمته المقننة (الـ Rated) تساوى

$$\left(\frac{1000000}{\sqrt{3}\times 380}\right) = 1500A$$

وبالتالي فيمكن استخدام قاطع 1500A على أساس أن المحول سيتم تحميله بـ 80% فقط، لكن الأصح هو استخدام قاطع 2000A لاسيما إذا كانت الأحمال تشتمل على محركات لها تيار بدء عالى أو أنه من المحتمل تحميله بنسبة أعلى.



شكل 5-17

حيث:

MLDB: Main Light Distribution Board

MPDB: Main Power Distribution Board

MEDB: Main Emergency Distribution Board

ملاحظات:

1- نظرا لصــغر المشــروع فإن جميع اللوحات العمومية يمكن تغذيتها من BB واحد كما فى الشــكل السابق.

2- لوحات الأحمال الهامة (أحمال الطوارئ) يتم تجميعها على لوحة طوارئ رئيســية MEDB ثم يتم تغذيتها من خلال ATSكما فى شكل 5-17.

3- الأحمال الهامة جدا والحساسة لأدنى انقطاع فى الكهرباء Critical Loads يتم تغذيتها من خلال UPS الذى يتغذى بدوره من ATS.

4- لوحة التغذية الخاصة بمضخة إطفاء الحريق تتغذى من كابلين دخول : أحدهما من خلال ATS، والثاني من المحول مباشرة (وقبل الـ CB الرئيسي من اللوحة العمومية) ، وذلك لضمان استمرارية التغذية بأعلى درجة ممكنة. ويمكن أن يؤخذ الكابل من المولد مباشرة وليس من خلال الـــ ATS لكن التحكم فيهما حسب الشكل سيكون يدويا.

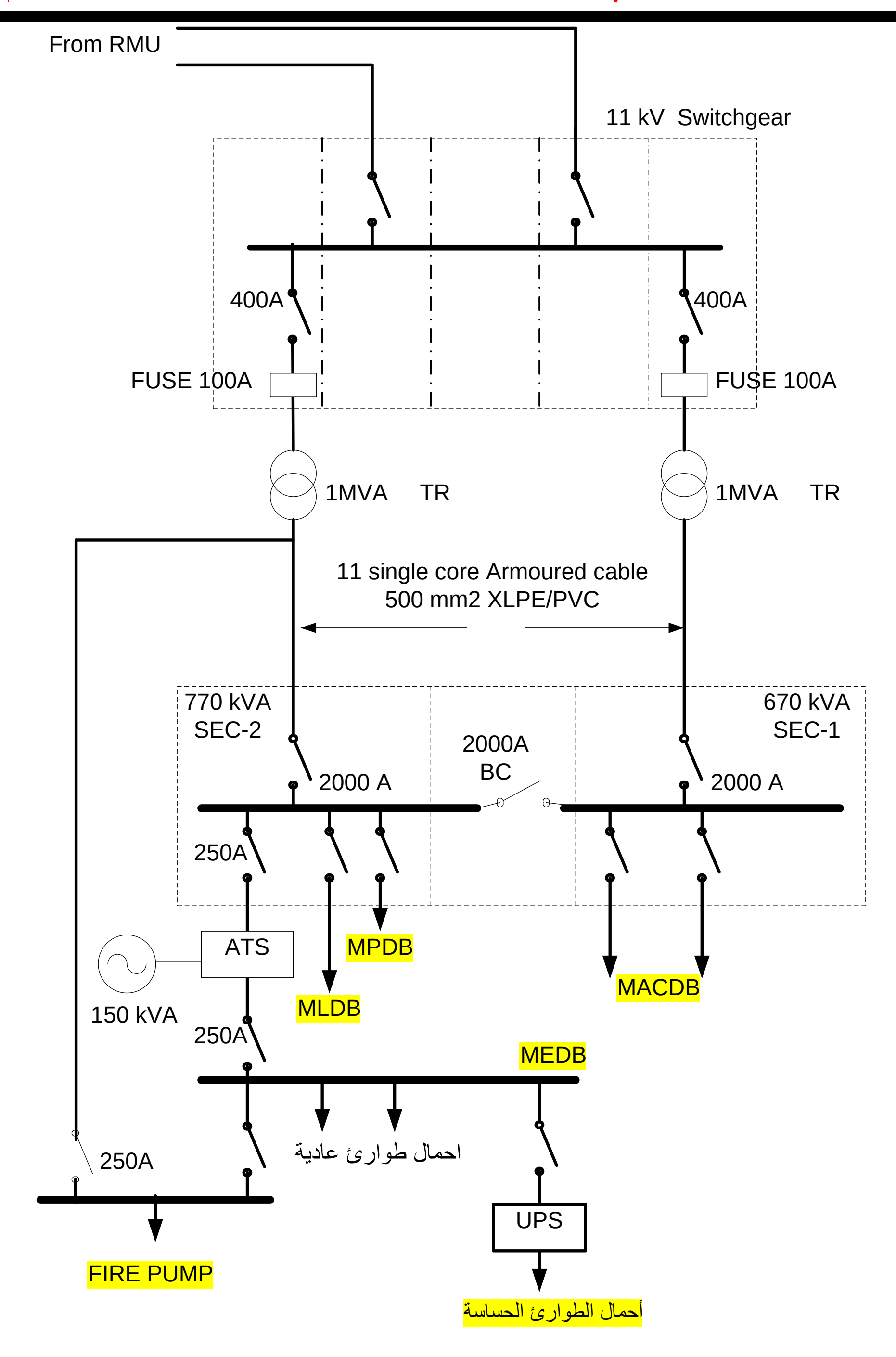
5- مســتوى تأمين الأحمال هنا ضــعيف، فالمحول مغذى من نقطة واحدة، ولا يوجد محول احتياطي. وبالتالي ففي حالة خروج المحول أو انقطاع دائرة الجهد المتوســط فالأحمال المتصــلة بالمولد فقط هي التي سيتم تغذيتها.

5-9-2 مشروع مكون من محولين

يتم هنا تقسيم الـــ BB إلى جزأين ويتم الربط بينهما بواسطة Bus Coupler، BCكما فى شكل 5-18. لاحظ أن من ميزات هذا الأسلوب ضمان استمرارية الخدمة حتى مع خروج أى من المحولين، وذلك لوجود دائرة تسمى Two out of Three وظيفتها أن تضمن وجود اثنين من الـــ CBs فقط فى الخدمة من بين الثلاثة قواطع (CB-1، CB-2، BC) . لاحظ هنا أن الربط تم فى جهة الجهد المنخفض للمحول ليسـهل تنفيذ دائرة التحكم (2 out of 3) السابق ذكرها.

ومستوى التأمين هنا أعلى من المشروع السابق لكن على حساب ارتفاع التكلفة، لاسيما إذا كان كل محول قادر على تغذية كامل الحمل، فهذا مكلف جدا لأنه يجعل كل محول محمل بنصف حمله في الظروف الطبيعية، أو سيتم فصل أحدهما دائما والاعتماد على الآخر، وكلا الأسلوبين يعتبر مكلف وسنرى لاحقا أساليب أفضل لتقليل التكلفة.

فى كثير من الأحيان يستخدم محولات تبريد جبرى Forced cooling لتتحمل أعلى من طاقتها أثناء خروج المحول الأخر، مثلا محول قدرة 1000kVA يمكن أن يتحمل من 1350 إلى KVA 1400 مع التبريد الجبرى Forced air ventilation أى بنسبة قد تتراوح من 35 إلى 40%.



MACDB : Main Air Condition DB – MEDB : Main Emergency DB

شكل 5-18

وسنعرض فيما يلى نموذجين آخرين ثم نعلق على مستوى تأمين الأحمال فيهما في جزء منفصل.

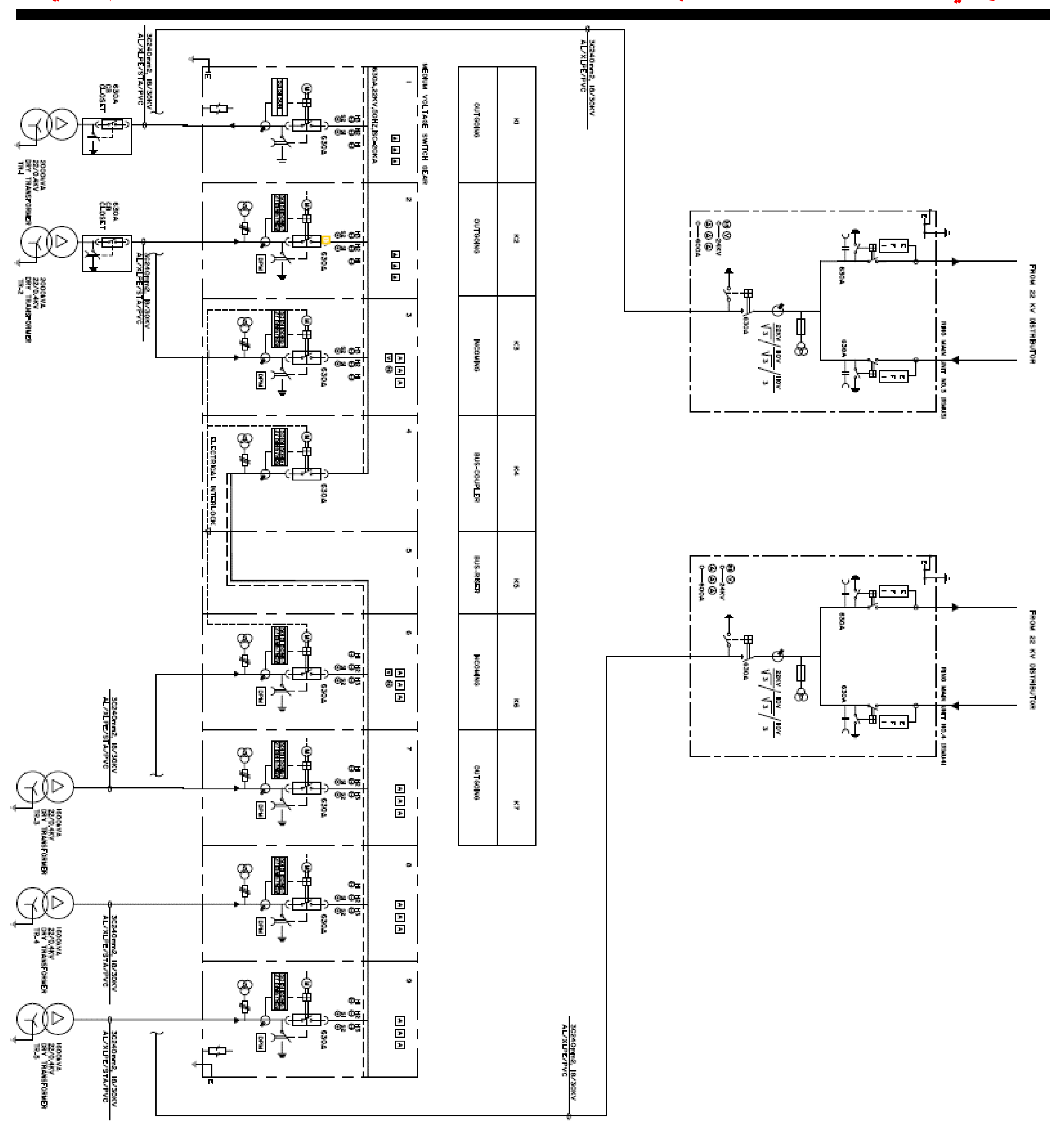
5-9-3 ربط مشروع به عدد كبير المحولات بالشبكة العامة

إذا كان لدينا أكثر من محول في المشروع فستتنوع أساليب ربط هذه المحولات بشبكة الجهد المتوسط .

1- ربط المحولات بطريقة Radial

الشكل 5-19 يمثل النموذج الأول لذلك. لاحظ أن دائرة التغذية قادمة من RMU إلى لوحة الجهد المتوسط، ثم من الـ BB العمومى للوحة الجهد المتوسط خرجت التغذيات في صورة Radial إلى المحولات المختلفة.

لاحظ أن كابلى الدخول دخلا على الخليتين رقم 3 و 6، بينما الخلايا أرقام 1و2و7و8و9 هم خلايا خروج لتغذية المحولات. ولا يوجد ربط بين المحولات هنا، لكن المحولات مقسمة لمجموعتين على يمين وشمال خلايا الربط (4 و5) ويمكن تغذية كل مجموعة من أي من كابلى الدخول.



شكل 5-19

ونعرض هنا في الشكل 5-20 مثالا آخر للتغذية بأسلوب الـــــــ Radial . وهو مثال لتغذية اللوحات العمومية الخاصــة بأحد المجمعات. ونظرا لكبر الحمل فقد احتاج إلى لوحة موزع خاصــة به. وبالطبع كما أشرنا فى مقدمة الفصل فإننا لن نستطيع شرح كافة التفاصيل الخاصــة بالمشروع لكننا سنركز فقط على بعض النقاط الهامة والمميزة للمشـروع خاصــة تلك التى لم يتم التعرض لها فى الأمثلة الســابقة. وفى هذا المثال سنركز فقط على ربط المشروع بالشبكة العامة من خلال لوحة الجهد المتوسط.

و قد قدر الحمل الكلى لهذا المجمع بســـبع محولات (TR1 to TR7) ، قدرة كل منهم 1600 kVA، وجميعهم من النوع الجاف Dry Type. واختير هذا النوع لأنه يمكن زيادة قدرة كل محول منهم بنســـبة 33% وذلك بعمل تبريد قسـرى للمحول Forced Cooling بواسـطة مراوح، ومن ثم يمكن أن نرفع القدرة المقننة لكل محول من 1600 kVA إلى 2133 kVA كما هو واضح على المخطط العمومى المرسوم فى شكل 5-21.

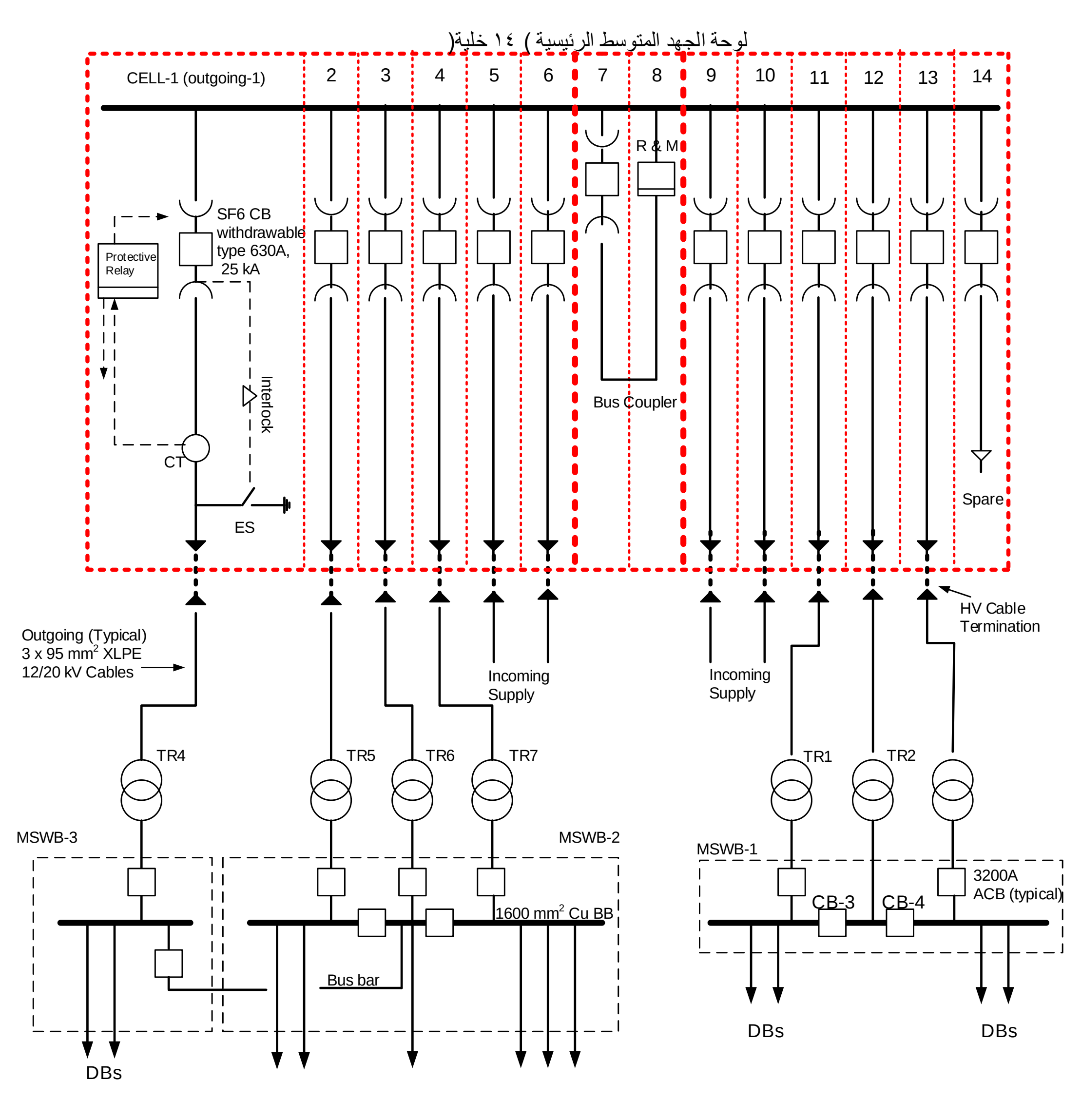
لاحظ هنا أننا احتجنا إلى لوحة جهد متوسـط ضــخمة (فلم يعد ممكنا مجرد ربط المحول بواسـطة RMU كما فى الأمثلة السابقة) بل استلزم الأمر هذه اللوحة المكونة من 14 خلية متشابهة (رسمت الخلية الأولى فقط بالتفصيل فى يسار شكل 5-20). وقسمت اللوحة إلى جزأين بينهما Bus Coupler :

- فى الجزء الأول (الخلايا من رقم 1 إلى رقم 6) يوجد خليتين لدخول كابلات التغذية Incoming Supply (هما الخلية 5 والخلية 6)، ويوجد أيضـــا أربعة خلايا (الخلايا من 1إلى 4) لخروج كابلات المحولات Outgoing Feeders.
- أما الجزء الثاني (الخلايا من 9 إلى 14) ففيه خليتين للدخول (9 و 10) ، وثلاثة خلايا للخروج (11و 12و13) ، بالإضـافة إلى خلية احتياطية (الخلية 14) . ويوجد بين الجزئين خليتين (7 و 8) لوحدة الربط Bus Coupler بين الجزئين (خلية منهما يوضع بها الـ CB والأخرى لاستعدال بارات النحاس).

وتغذى لوحة الجهد المتوســـط الســـابقة ثلاثة لوحات عمومية رئيســـية Main Switch Boards هى : MSWB-1، و MSWB-2، و MSWB-3. ففى اللوحة العمومية الرئيسية الأولى (MSWB-1) هناك 4 قواطع من النوع Air-CB بتيار مقنن 3200A، وهذه الـ CBs الأربعة ترتبط بلوحة للتحكم فيها، بحيث نضمن أن المحول الثاني TR2 يمكنه أن يحل محل أيا من المحولين TR1 أو TR3. فالقاطعين CB-3 و CB-4 فى الأصـــل يكونا مفتوحين (Normally Open) فإذا خرج المحول TR1 لأى ســـبب من

الأســـباب فإن CB-3 يغلق أتوماتيكيا ومن ثم تنتقل تغذية أحمال المحول الأول TR1 إلى المحول الاحتياطي TR2. وبالمثل إذا خرج المحول TR3 فإن CB-4 يغلق أتوماتيكيا و ينتقل حمله إلى TR-2.

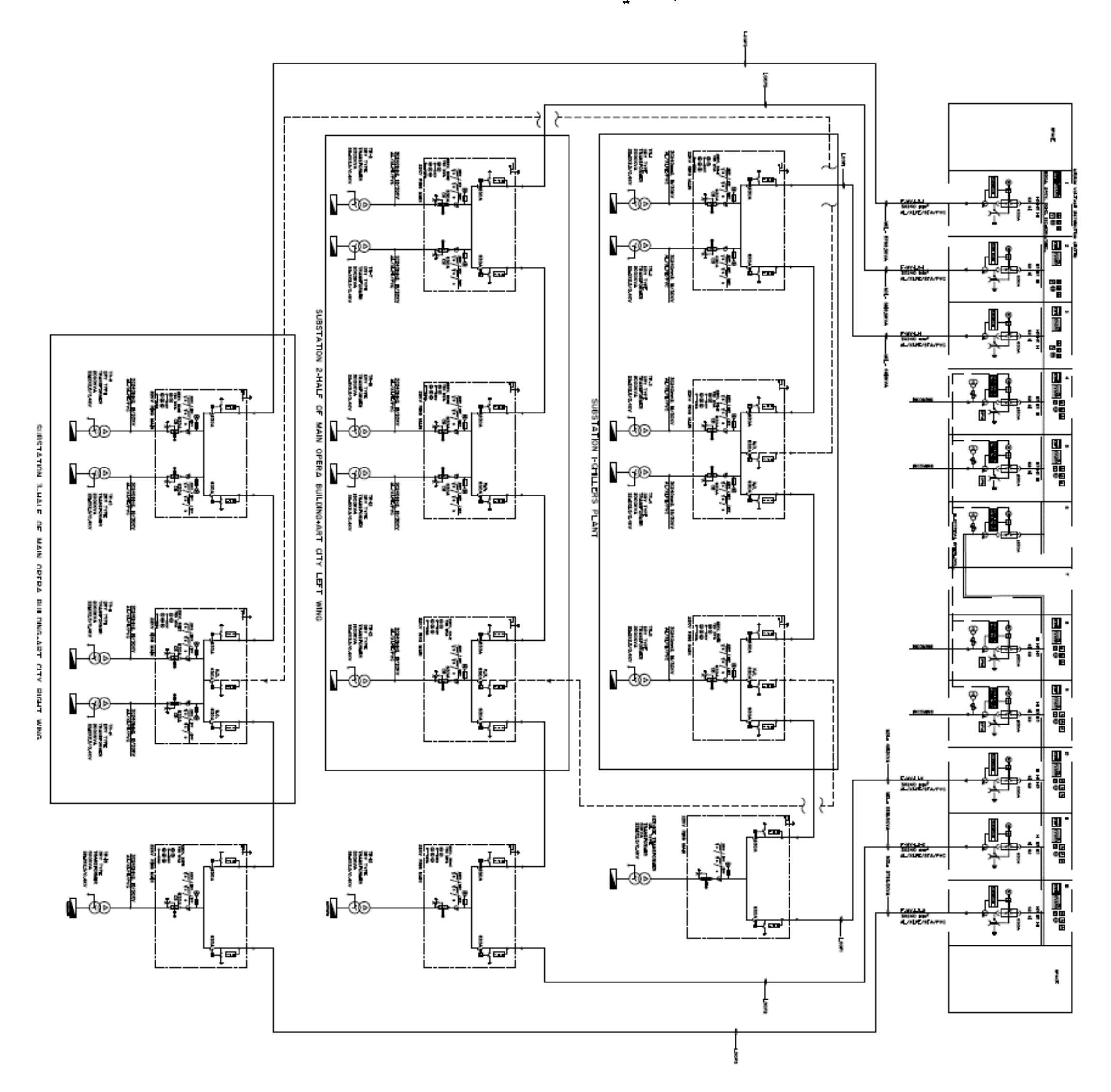
لاحظ أن المحول TR6 في اللوحة الرئيسية الثانية (MSWB-2) يقوم بنفس المهمة التي يقوم بها TR2، فهو محول احتياطي للمحولين TR5 وTR7، و تضـاف إليه هنا مهمة جديدة فهو يعتبر أيضـا احتياطي للمحول TR4 الموجود في اللوحة العمومية الثالثة، من خلال ربط اللوحتين MSWB-3 و MSWB-2 بواسطة Bus Bar كما في الشكل.



شكل 5-20

2- ربط المحولات بأسلوب الـ Loops

في الشـــكل 5-21 مثال لربط 11 محول على 3-Loops متداخلة. فاللوحة مكونة من جزئين كل جزء يغذى بدائرتين للدخول وثلاث دوائر خروج. وكل دائرة خروج في الجزء الأيمن تتصـــل بدائرة خروج في الجزء الأيسر ليشكلا معا حلقة Loop وبالتالي لدينا 3-Loops.

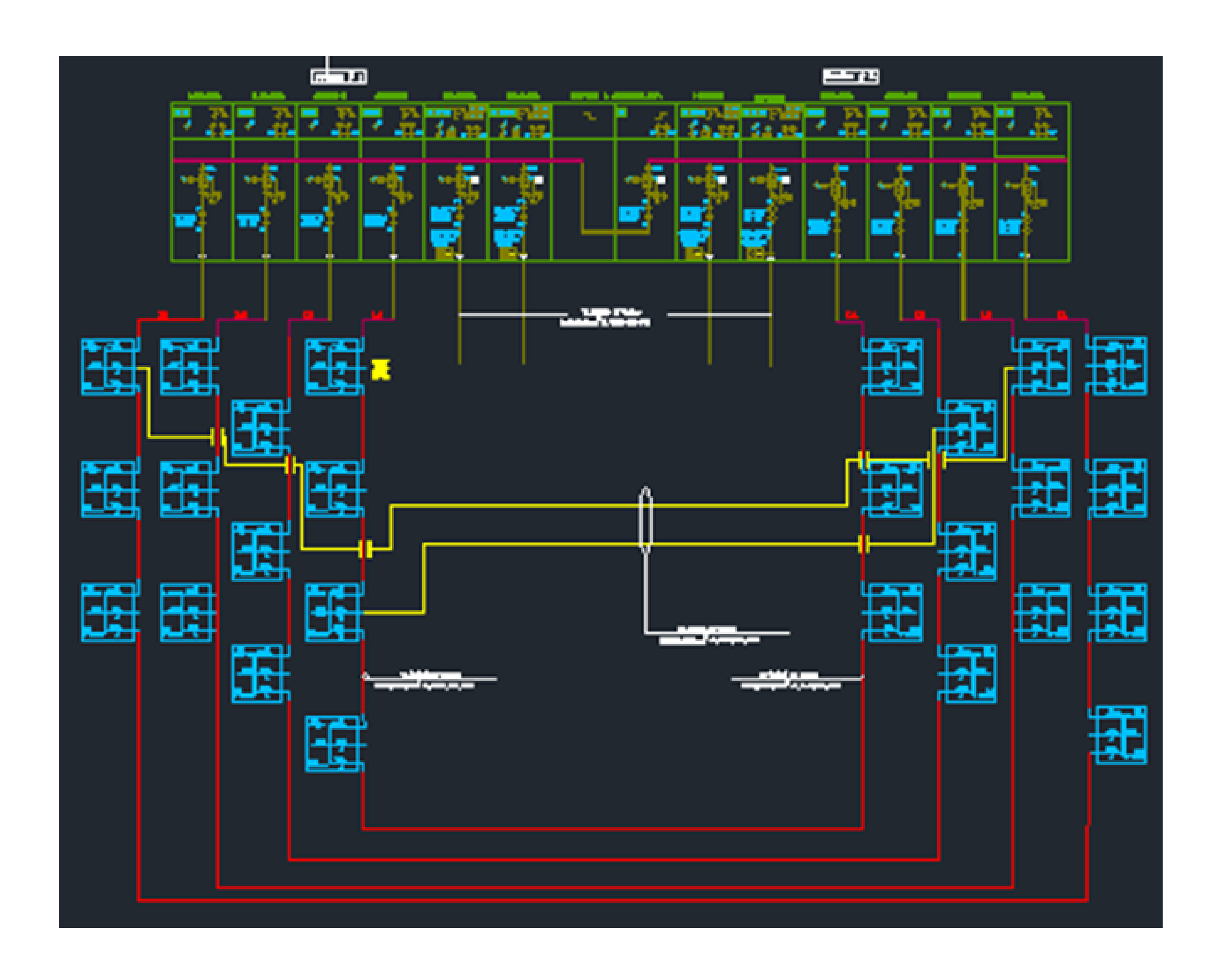


شكل 5-21

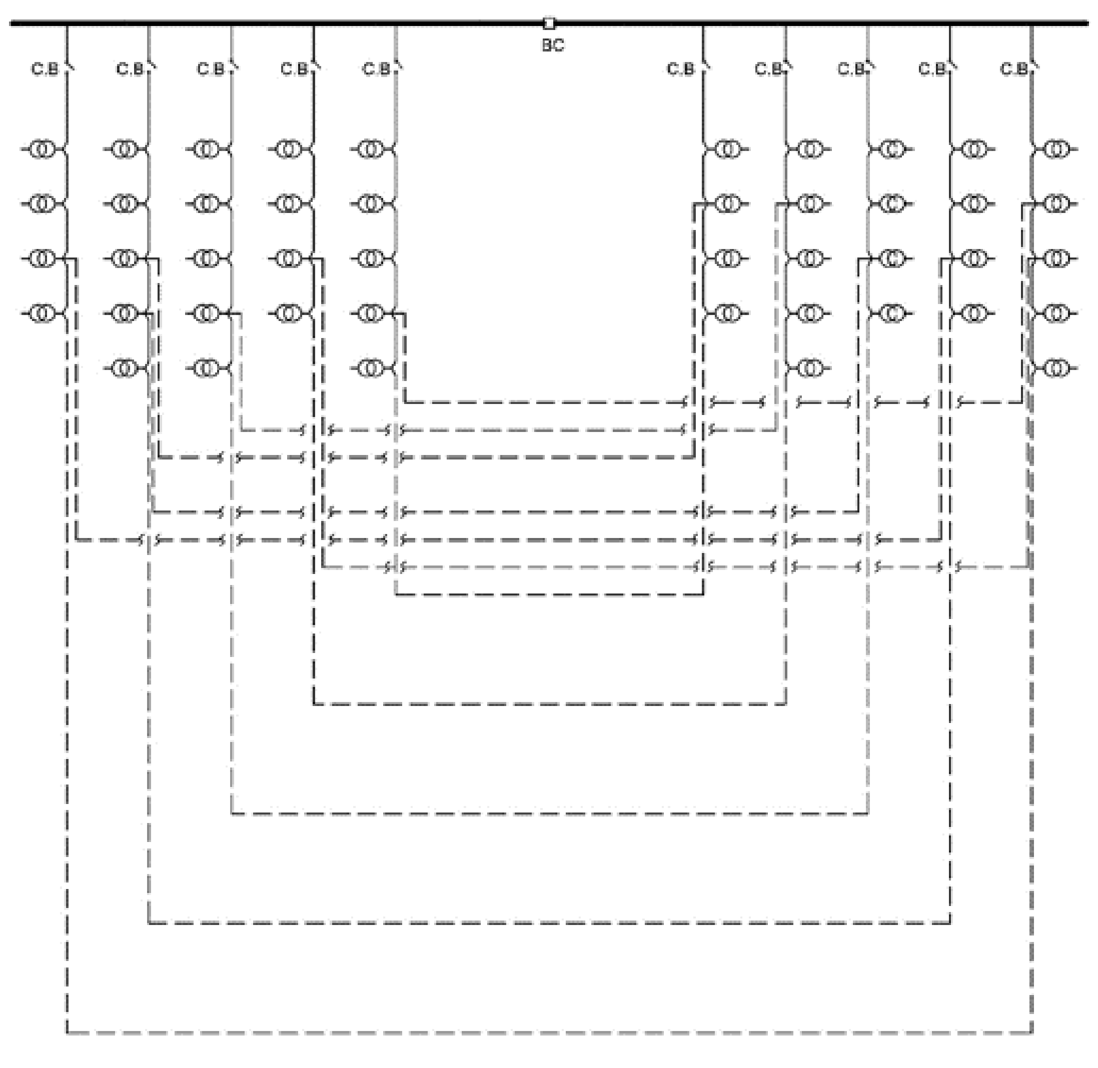
يراعى أن عدد المحولات التى ترتبط على الحلقة الواحدة تحسب بحيث لا يتعدى حمل الحلقة 6 ميجا فولت أمبير. مع استخدام كابل جهد متوسط 240مم2 ألومنيوم طبقا لاشتراطات شركة شمال القاهرة مثلا.

أما في السعودية تستخدم كابلات نحاسية 300مم^2 ليستوعب 9 ميجا فولت أمبير أو كابل 185مم^2 نحاسى يستوعب 7 ميجا فولت أمبير في الـ loop الواحدة.

والمثال التالى لشبكة بها 26 محول موزعين على 4-loops . بالطبع لا أهدف لعرض قيم الكابلات ولا القواطع وإنما فقط لعرض الشكل العام للشبكة ومن ثم فالرسم مصغر جدا سواء في الشكل السابق أو الشكل التالى.



وفى الشكل 5-22 مثال لربط أكثر من 45 محول في Loops متداخلة. لاحظ وجود أكثر من نقطة لتغذية الـLoop الواحدة من أجل مزيد من تأمين الأحمال، وفى نفس الوقت من أجل عدم وضع عدد كبير من المحولات على كابل واحد وقت الطوارئ.



شكل 5-22

5-9-5 مستويات تأمين الأحمال

1- مشكلة خروج إحدى دوائر الدخول Incoming Feeders

هذه المشـــكلة يمكن حلها مثلا بعمل ربط على الجهد المتوســـط كما فى شـــكل 5-19 ، وشـــكل 5-20 الســـــابقين. ونعنى بذلك إنه في حالة خروج إحدى أو كل دوائر الدخول من جهة ما فإن دوائر الدخول من

الجهة الأخرى ستقوم بتغذية كامل المحولات. ويفضل كما ذكرنا سابقا أن تكون دوائر تغذية الجهد المتوسط مأخوذة من محطتين مختلفتين.

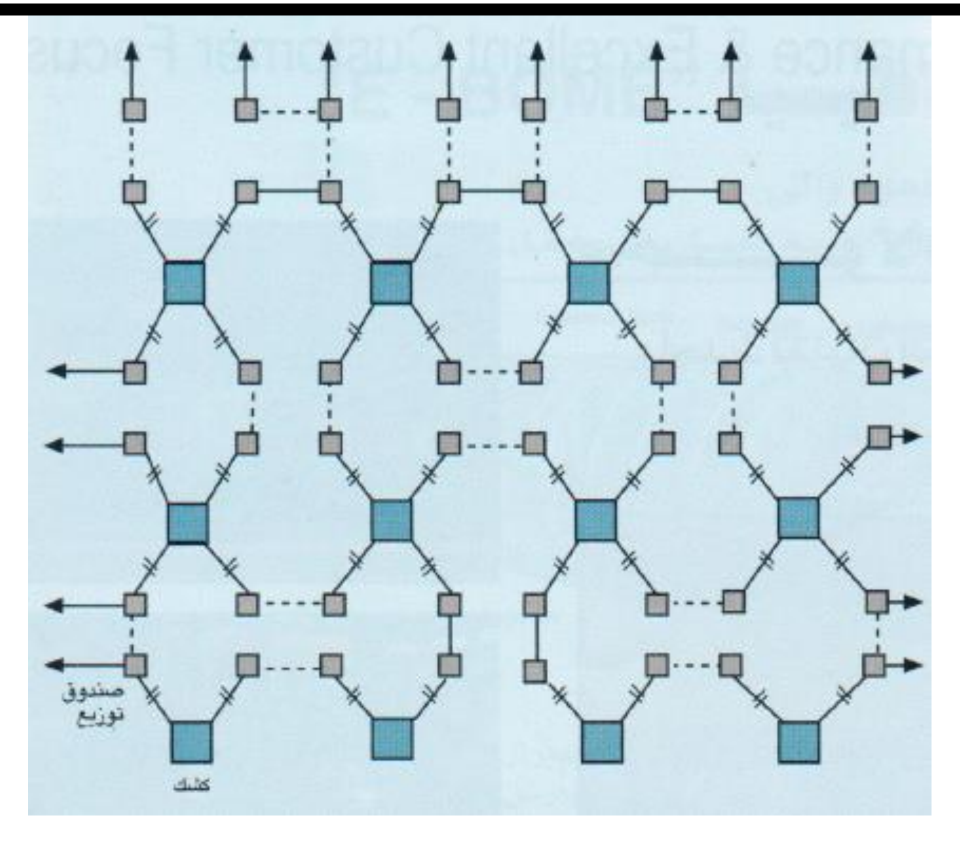
2- مشكلة خروج أحد المحولات

هذه المشكلة تعالج بإحدى طرق الربط على الجهد المنخفض، ففي شكل 5-19 مثلا فإن أيا من المحولين جهة اليمين أو جهة اليسار عند خروجه لأى سبب من الخدمة فإن المحول الآخر سيقوم بتغذية حمله. ولكن هذا الأسلوب يعنى أن كلا المحولين قد تم توصيفه ليحمل كامل الحمل في المشروع، وهذا وإن كان فيه درجة عالية من تأمين الأحمال لكنه مكلف للغاية. يسمى هذا النظام بنظام Full redundancy system (N+N) .

ومن الطرق الأكثر اقتصادية لحل هذه المشكلة أن يكون لدينا محول واحد احتياطي لأكثر من محول كما في شكل 5-20 حيث المحول رقم 6 كما ذكرنا يمكن أن يكون بديلا لثلاثة محولات مختلفة حال خروج أيا منها.

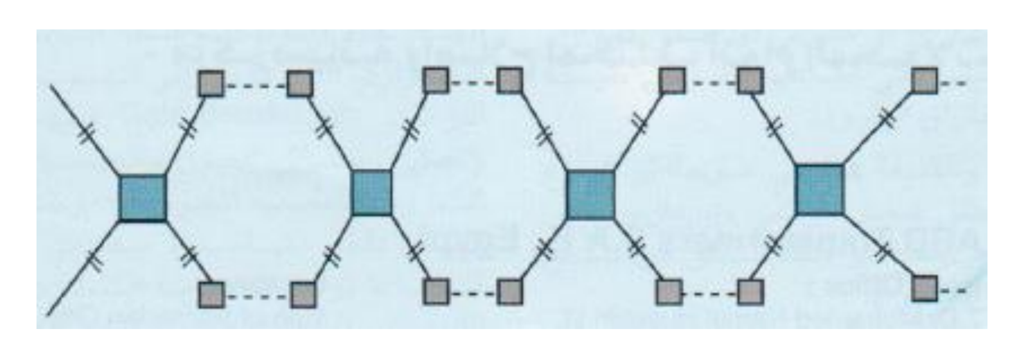
ومن الطرق الأخرى التي تصلح لتأمين خروج أحد المحولات (تصلح فقط في الشبكات العامة حين يكون لدينا عدد كبير من المحولات وكل محول يغذى عدد معين من صناديق التوزيع) فعندها يمكن أن يتم تحميل كل دائرة خروج (صندوق توزيع) من دوائر المحول على محول مجاور بحيث أن أي محول مجاور لا يحمل بأكثر من صندوق واحد، وبالتالي تتشارك عدد من المحولات في تحمل حمل المحول الذى خرج من الخدمة.

وكمثال على ذلك، نرى في شكل 5-23 أن المحول يمثل بمربع أزرق فى المنتصف، يتصل به أربعة أكشاك توزيع جهد منخفض (مربعات صغيرة)، لاحظ أن كل صندوق من صناديق المحول الأربعة يتصل بصندوق تابع لمحول آخر من خلال كابل ربط إضافي يمثل في الشكل بخط منقط (هذا الكابل الإضافي يكون مفتوحا فى الظروف الطبيعية Normally Open) . ويمكن من الشكل أن تكتشف أن بهذه الطريقة يتم تأمين خروج أى محول بنسبة مئة فى المئة، بمعنى لو خرج أى محول بسبب عطل مثلا فإن صناديقه الأربعة ستوزع على أربعة محولات مختلفة، ويصبح كل محول محملا بصندوق واحد إضافي فقط.



شكل 5-23

أما فى شكل 5-24 فالأحمال يتم تأمينها بنسبة 50% فقط.



شكل 5-24

وبالطبع فالفيصل فى الاختيار سيكون لأهمية الأحمال والميزانية المتاحة.

3- **مشكلة خروج (فصل) أي مغذى من مغذيات الخروج**

المقصود هنا أن لدينا مشكلة فى outgoing feeder لكن بدون خروج المحول نفسه، وهنا يمكن حل هذه المشكلة بعمل دوائر حلقية Ring Network بين مغذيات الخروج، بل وأحيانا يتم استخدام الـ Double Ring أي تغذى الـ Ring الواحدة من أكثر من نقطة كما في شكل 5-22 السابق، وبالطبع سيكون لدينا منظومة تحكم في Load Break Switches، LBS الخاصة بخطوط الربط المتعددة. وكل هذا كما ذكرنا يتوقف على أهمية الأحمال ودرجة الاعتمادية المطلوبة.

5-10 تغذية كبار المستهلكين

5-10-1 جدولة الأعمال

تصميم شبكة التوزيع في حالة المشروعات الضخمة تختلف عما سبق في أن الأحمال تكون من الضخامة بحيث أننا نحتاج إلى جدولة الأحمال Load Tabulation، ونقصد بذلك أن الأحمال قبل عمل التصميم النهائي في هذه المشروعات توضع في جداول منوعة لتسهيل عملية الحسابات والتصميم، على سبيل المثال الجدول 5-19 حيث ظهرت الأحمال حسب مكان وجودها وحسب مدة تشغيلها (مدة التشغيل تفيد في حسابات المولد وحسابات الـ UPS)

جدول 5-19 (فارغ)

Device	Power	1 or 3 phase	V	Starting Current	Rated Current	Duration

والمعلومات في هذه الجداول إما أن تأتى من المورد Supplier أو من الأحمال المتشابهة في مشروعات سابقة.

5-10-2 طرق التغذية

فى حالة كون مجموع الأحمال بالمشروع كبيرا (غالبا أكبر من 5 ميجا) فإن أسلوب استخدام الـــــ RMU يصبح غير ملائم، وفى هذه الحالة يتم تغذية المشروع من لوحة جهد متوسط خاصة بالمشروع فقط، حيث تكون متصلة مباشرة بمحطة التغذية الرئيسية بالمدينة (جهد 66/11 kV) كما سبق أن ذكرنا فى المثال الخاص بالمجمع السكنى الفاخر، سيتضح بدرجة أكبر فى المثال التالى الخاص بمنطقة صناعية.

مثال 5-4

المطلوب تغذية مصنعين أحمالهما كما يلى:

المصنع الأول (مكون من مبنيين):

- مبنى -1: 3.34 MVA
- مبنى -2 : 1.66 MVA

المصنع الثاني(مكون من مبنيين):

- مبنى -3 : 1.33 MVA
- مبنى -4 : 2.66 MVA

علما بأن المصنع الأول يقع بالقرب من محطة التغذية الرئيسية بالمدينة، ومن ثم ستتم استقبال التغذية الرئيسية عليه أولا ثم يتم تغذية المصنع الثاني من خلال المصنع الأول.

الحل:

الخطوة الأولى أن تتم دراسة وضع الأحمال فى محطات الـkV 66/11 القريبة من موقع المشروع، بحيث يتم تحديد عدد الخلايا الغير مستخدمة فى كل محطة، و تحديد الأحمال التى تغذى من كل محطة وحجم القدرة الـ Spare المتاحة فى كل منها.

وقد اقترح فى هذا المشـروع تغذية اللوحة الرئيسـية للمصـنعين والموجودة بالمصـنع الأول من أقرب محطة المحولات جهد 66/11 kV (اسـم المحطة هو S4 وهى محطة يبلغ الحمل الأقصـى لها 4 x 25 MVA ويبلغ مجموع الأحمال الفعلية عليها حوالى 20 MVA فقط، ومن ثم فهى مناسبة لتغذية المصـنعين). وهذه اللوحة تظهر فى الجزء العلوى من شكل 5-26.

الخطوة الثانية بعد تحديد محطة معينة، هى اختيار مقطع وعدد الكابلات التى تصــل بين محطة التغذية الرئيسية والمصنع.

الخطوة الثالثة هى قياس المسافة بين محطة التغذية والمصنع تمهيدا لحسابات الــــ Short Circuit وحسابات الــــ Voltage Drop علما بأننا لن نتوقف كثيرا عند هذه الحسابات التى درست تفصيليا فى الفصل الرابع. وسنركز هنا فقط على **<u>شكل التغذية</u>** وليس على طرق الحسابات ،علمًا بأن معظم الحسابات خاصة بالنسبة لاختيار الكابلات يمكن التأكد منها بتطبيق نفس القواعد السابق دراستها.

الخطوة الرابعة : حصر المهمات (Equipment) اللازمة لتغذية المصنع

أهم المعدات اللازمة لتغذية المصنع هى (انظر شكل 5-26) :

1- لوحة التوزيع الرئيسية (المصنع الأول) ، وتشتمل على 11 خلية:

- عدد 3 خلية دخول خاصة بالتغذية من محطة المحولات S4
- عدد 2 خلية خاصة برابط القضبان bus coupler.
- عدد 4 خلايا لتغذية المحولات (منهم واحد احتياطى) .
- عدد 2 خلية خروج لتغذية المصنع الثاني.

بالإضـافة إلى عدد 4 محولات سـعة 2000MVA جهد0.4 kV /11 (منهم واحد احتياطى) تغذى جميعا من اللوحة.

2- لوحة التوزيع الفرعية (بالمصنع الثاني) ، وتشتمل على 7 خلايا :

- عدد 2 خلية دخول.
- عدد 2 خلية خاصة برابط القضبان.
- عدد 3 خلية خروج لتغذية المحولات.

بالإضافة إلى عدد 3 محول سعة 200 kVA جهد 11/0.4 kV تغذى جميعا من اللوحة.

3- كابلات نحاس مفرد Single core مسـلح ذو مقطع (XLPE) $\boldsymbol{400\ mm^2}$ جهد 20/12 kV من محطة محولات (S4) حتى لوحة التوزيع الرئيسـية بالمصـنع الأول. (لاحظ أن هذا المقطع لا يناسبه استخدام الكابلات الـ Multi-core لصعوبة تمديده وتصنيعه).

4- كابلات نحاس مسـلحة قطاع (XLPE) $\boldsymbol{3 \times 240\ mm^2}$ جهد 20/12 kV وذلك لتغذية لوحة التوزيع بالمصـنع الثاني من اللوحة الرئيسـية بالمصـنع الأول. (لاحظ أن قيمة الجهد للكابل لا تعنى جهد التشغيل بل فقط تعنى أقصى جهد يتحمله وهو يساوى هنا 20 kV) .

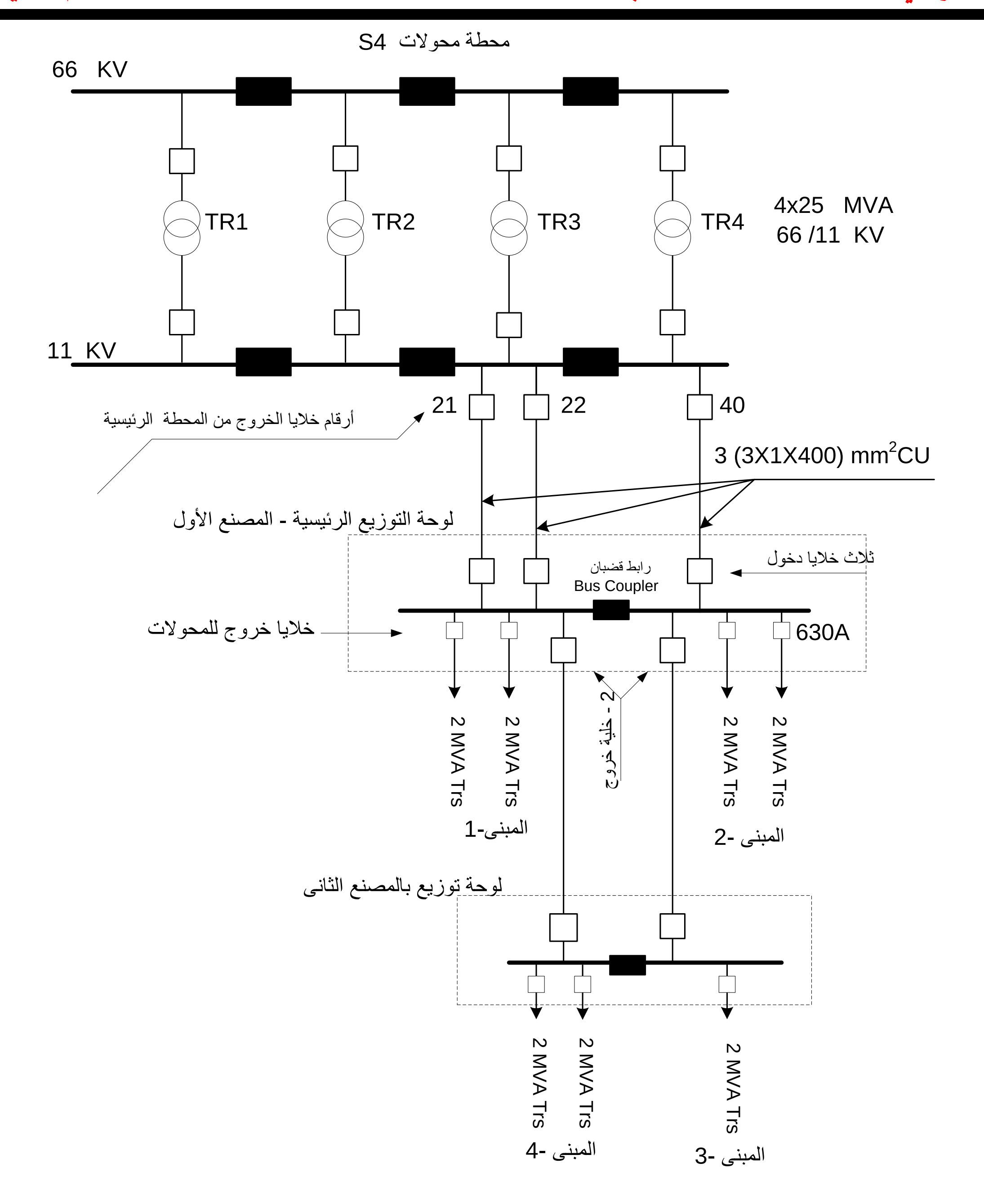
4- **كابلات نحاسـية قطاع (XLPE)** $\boldsymbol{3 \times 95\ mm^2}$ جهد 20/12 kV وذلك لتغذية المحولات الرئيسية من لوحات التوزيع بالمصنعين.

ملحوظة :

النتائج الخاصة بحسابات الهبوط فى الجهد وحسابات القصر كانت كما يلى:

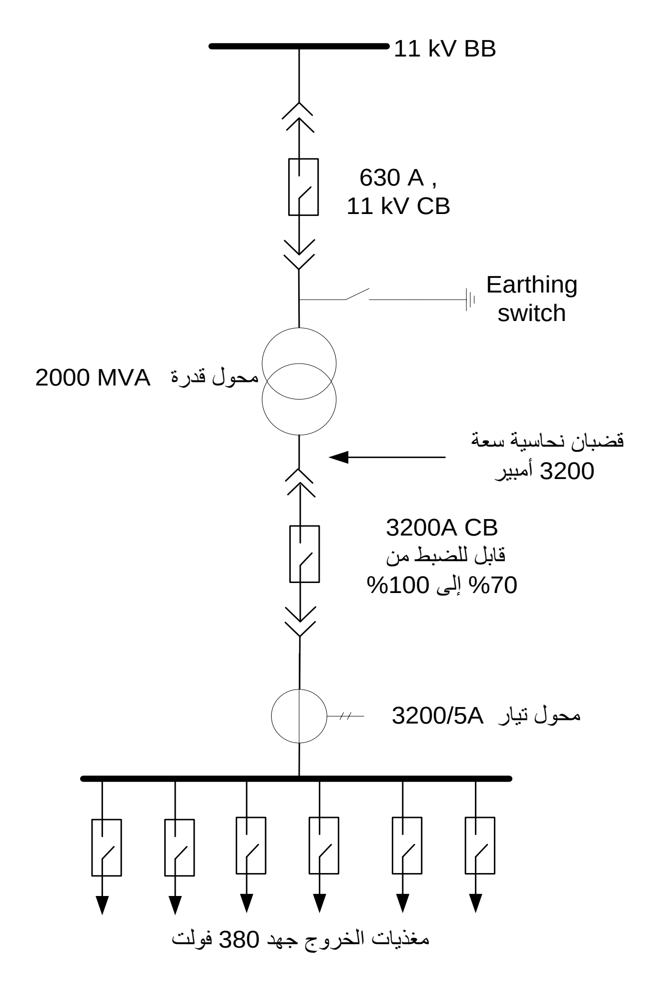
- أقصـى هبوط فى الجهد فى التحميل العادى يسـاوى 0.5% وفى التشـغيل الاضـطراري يسـاوى 1.43%.
- أقصـى تيـار قصـر متوقع عند قضـبـان التوزيع 11kV المغـذيـة للمصـنع الأول تصـل إلى (7.9 kA = 150 MVA) وهى أقل من سعة القطع S.C.C للـ C.Bs المركبة على الـ B.Bs المغذي منها المصنع الأول.

وشكل 5-26 يمثل مخطط تغذية المصنعين بالطاقة الكهربية.


محطة محولات S4
66 KV
TR1
TR2
TR3
TR4
4x25 MVA
66 /11 KV
11 KV
21
22
40
أرقام خلايا الخروج من المحطة الرئيسية
3 (3X1X400) mm2CU
لوحة التوزيع الرئيسية - المصنع الأول
رابط قضبان
Bus Coupler
ثلاث خلايا دخول
خلايا خروج للمحولات
630A
2 MVA Trs
2 MVA Trs
2 - خلية خروج
2 MVA Trs
2 MVA Trs
المبنى-1
المبنى -2
لوحة توزيع بالمصنع الثانى
2 MVA Trs
2 MVA Trs
2 MVA Trs
المبنى -4
المبنى -3

شكل 5-26

كما يمثل شكل 5-27 نموذجا للوحة أحد المحولات قدرة 2 MVA المستخدمة بالمصنعين.



شكل 5-27 تفاصيل لوحة أحد المحولات بالمشروع

11-5 التحميل الزائد للمحولات العمومية

الأصـــل إنه يجب دائما مراعاة ألا يتم تحميل المحول بأكثر من 80% من قدرته الإســـمية وذلك فى حالة المحولات الزيتية، أما المحولات الجافة فيصـل التحميل فيها إلى 90%. والأصـل أيضـا أن يتم تقدير سـعة المحولات بناء على هذه القاعدة كما فى المثال التالى:

مثال 5-5:

مبنى إدارى مسـاحته 1500 م^2 ومكون من 30 طابقاً. والمطلوب تحديد سـعة محول التوزيع المناسـب لهذا المبنى مع عدم السماح بالتحميل الزائد.

الحل:

على اعتبار أن الحمل فى المباني الإدارية يساوى $12\ \text{kVA}/100\ m^2$

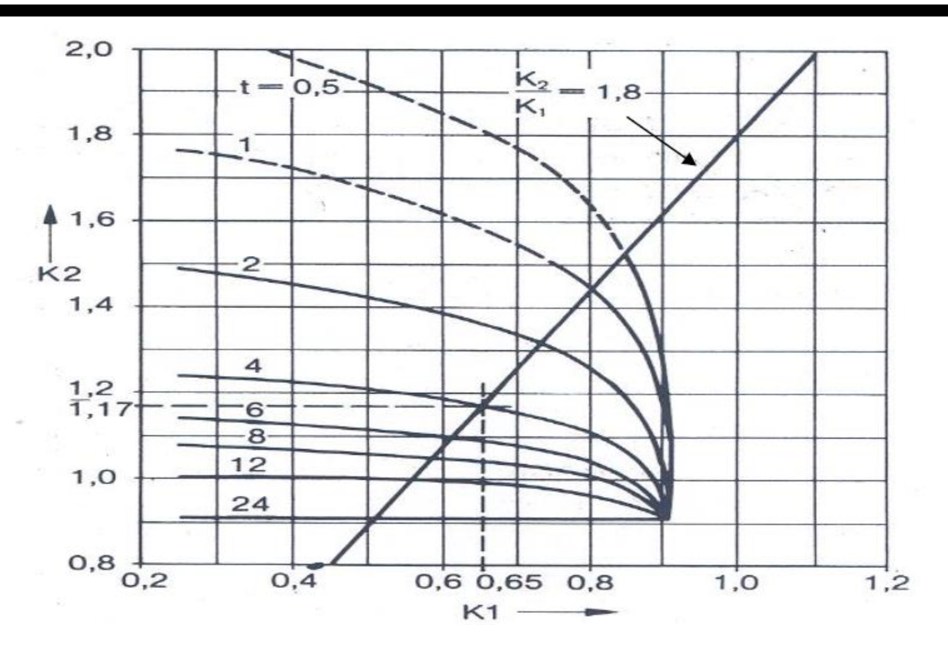
$$\text{max. load} = \frac{1500}{100} \times 12 \times 30 = 5.4\ \text{MVA}$$

$$\text{Tranformer load} = \frac{5.4}{0.8} = 6.75\text{MVA}$$

وأقرب عدد من المحولات المقننة هو 5 محولات قدرة كل منها 1.5 kVA

= إجمالياً 7.5 kVA

إلا أنه فى الواقع العملي تجد هناك ظروفا تضـطرك لتحميل المحول فوق هذه القدرة، وقد وضـعت شـركات تصـنيع المحولات شـروطا لذلك حفاظا على المحول من التلف. ومن ثم يمكن تحميل المحولات بقدرة أكثر من السـعة الإسـمية للمحول وذلك بالاسـتعانة بالمنحنيات شـكل 5-28، و التي تمثل العلاقة بين **التحميل المعتاد** للمحول كنسـبة من السـعة الإسـمية (k1)، و **التحميل الزائد** للمحول المسـموح به كنسـبة أيضـا من السعة الإسمية (k2) و ذلك لعدد ساعات معينة، في درجة حرارة 30°C.



شكل 5-28

حيث:

k_1: الحمل المعتاد كنسبة من السعة الإسمية $\left(\frac{\text{Normal}-\text{Load}}{\text{Capacity}}\right)$

k_2: الحمل الزائد المسموح به كنسبة من السعة الإسمية $\left(\frac{S_2\ (\text{max allawable load})}{S_N\ \text{Rated Capacity}}\right)$

t: فترة التحميل الزائد (ساعة).

مثال 5-6:

محول سعته الاسمية 1250 kVA، و الحمل المعتاد لهذا المحول هو 750 kVA، فما هـــو أقصى تحميل زائد مسموح به لمدة أربعة ساعات، و ذلك في درجة حرارة 30° مئوية؟

من شكل 5-28 : من تقاطع قيمة K_1 مع منحنى الأربع ساعات سنجد أن قيمة K_2=1.17

$$k_1 = \frac{750}{1250} = 0.6, t = 4h$$

$$k_2 = 1.17$$

وبذلك يكون أقصي تحميل زائد مسموح به لمدة أربعة ساعات هو:

$$S_2 = k_2 * S_N = 1.17 * 1250 = 1462.5\ kVA$$

مثال 5-7 :

المطلوب تحديد سعة محول توزيع بنظام تبريد ONAN علما بأنه سيتم تحميله بحمل قيمته 450 kVA لمدة أربع ساعات، وحمل طبيعي قيمته 250 kVA لمدة العشرين ساعة الباقية.

$S_1 = 250\ kVA$، $t_1 = 20h$

$S_2 = 450\ kVA$، $t_2 = 4h$

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{450}{250} = 1.8 = \frac{K_2}{K_1}$$

من شكل 5-28 يرسم الخط $\frac{K_2}{K_1} = 1.8$ ويمر بنقطة الأصل ;

وتقاطعه مع المنحنى t = 4h،

فإن النسب K_1، K_2 تكون على النحو التالى :، $K_1 = 0.633 \quad = 1.14 K_2$

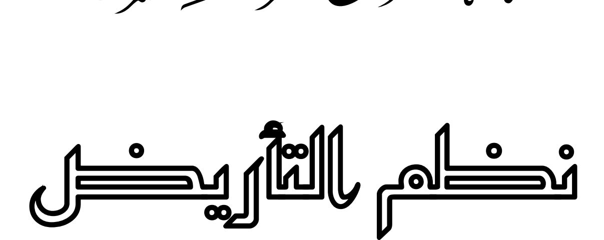
ومن ثم يجب أن تحقق السعة الإسمية لهذا المحول S_N المعادلة التالية

$$S_N = \frac{S_1}{K_1} = \frac{S_2}{K_2}$$

$$S_N = \frac{450}{1.14} = \frac{250}{0.633} = 394.9\ KVA$$

ولذا فإن المحول المناسب هو محول سعته 400 kVA.

الفصل السادس



6

الفصل السادس

نظـــــــــم التــــــــــأريض

Earthing Systems

تنص كافة الأنظمة الكهربية وتعليمات الســـلامة على وجوب التأريض فى المباني، و ذلك لأهميته الهائلة في حماية الإنسـان ووقايته من الصـدمات الكهربية المحتملة بسـبب الأخطاء التصـميمية أو التشـغيلية أو العوامل الجوية أو انهيار العزل.

فمن المعلوم أن الموصلات الحية (Live Conductors) فى المنظومة الكهربية تحمل عادة جهدا كهربائيا خلال التشـــغيل العادى، أما الأجزاء المعدنية الأخرى كهياكل الأجهزة الكهربية فهي لا تحمل جهدا، لكنها يمكن أن تكون ذات جهد مرتفع إذا انهار العزل بينها وبين الدوائر الكهربية التي بداخلها، مما يعرض المنشآت والعاملين إلى الخطر إن لم يتم اتخاذ إجراءات وقائية، من بينها إيصال تلك الهياكل إلى الشبكة الأرضية، وهذا النظام يعرف **بالتأريض**.

والتأريض هو اتصـــال الهياكل المعدنية للمعدات الكهربية (مثل هياكل و أجســـام الآلات، والمحركات، و المحولات، اللوحات الكهربية، و حوامل الكابلات Cable Trays، و أغلفة الكابلات المســـلحة، إلخ) بالإلكترود الأرضـي ذى المقاومة المنخفضـة التى قد تصـل إلى أوم واحد من خلال سـلك نحاسـي معزول يعرف بموصل الأرضي Ground Wire.

وإحدى أهم غايات التأريض هو حماية الإنسـان من الصـدمات الكهربية، لأن التيار الكهربي المتجمع على جسم الآلات(electrostatic charges) يسلك الطريق الأسـهل والأقل مقاومة، وهذا الطريق الأسـهل هو بالطبع خط الأرضي (المتصل بإلكترود التأريض) لأن مقاومته صغيرة جدا مقارنة بمقاومة جسم الإنسان.

ويمكن تقسيم أنواع التأريض إلى نوعين أساسيين:

1- الأول هو Safety Earthing، وهو موضوع هذا الفصل، ويختص فقط بحماية البشر.

2- والثاني هو Power Earthing، ويدرس باختصار في الجزء التالى فقط من هذا الفصل.

1-6 تأريض نظم القوى POWER EARTHING

هذا النوع يســمى أيضــا System Grounding، وهو يتم من خلال تأريض نقطة التعادل فى مصــادر التغذية ولذا يسمى أيضـا Neural Grounding، وهذا النوع يؤثر مباشرة على منظومة الوقاية للمعدات، كما أن هذا النوع له علاقة بتحسين الـ Power Quality.

ويندرج تحت هذا النوع العديد من طرق تأريض نقطة التعادل (Power Earthing)، من أهمها:

1- التأريض المباشر Solidly Earthing.

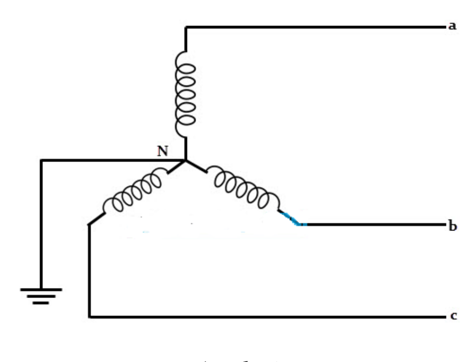
2- التأريض خلال مقاومة Resistance Grounding.

3- التأريض خلال معاوقة Reactance Grounding.

4- النظم المعزولة Isolated System.

1-1-6 التأريض المباشر Solidly Earthing

فى هذا النظام تتصل نقطة التعادل Neutral point مباشرة بإلكتـــرود التأريض كما في الشكل 6-1.

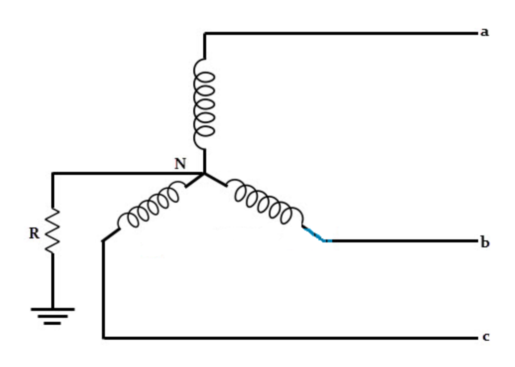


شكل 6-1

ويتميز هذا النظام بأنه عند حدوث عطل أرضي فإن الجهد على الـــ Faulty Phase لا يزيد عن الجهد العادى، ومن ثم لا نحتاج لعوازل مكلفة. كما أن تمييز واكتشاف العطل يكون سهلا فى هذا النظام بسبب ارتفاع قيمة تيار العطل مقارنة بالتيار العادى. لكن على الجانب الآخر يســـتلزم أن تتحمل معدات النظام قيم تيارات القصر شديدة الارتفاع المتوقع حدوثها، بمعنى أن Rupture Capacity للقواطع، وكذلك الـــ Short Circuit Capacity للكابلات ســيكونان مرتفعان ومكلفان جدا، ولذا ففى الغالب يســـتخدم هذا الأسلوب مع الجهود المنخفضة فقط.

6-1-2 التأريض خلال مقاومة

وهو النظام الأشهر خاصة مع المولدات الكهربية، حيث توضع المقاومة متصلة مباشرة بنقطة التعادل كما فى شكل 6-2 . والهدف منه واضح، وهو تحجيم قيمة تيار الأعطال الأرضية قدر الإمكان، حيث سيعود تيار العطل إلى المصدر من خلال هذه المقاومة التي يمكن اختيار قيمتها للتحكم فى القيمة القصوى لتيار العطل.



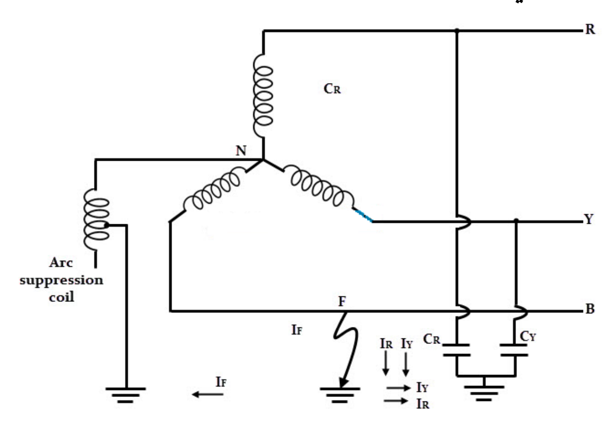
شكل 6- 2

6-1-3 التأريض خلال Reactance

وفيه تستخدم Reactor بين نقطة التأريض والـ Neutral، وغالبا تختار قيمة الـــ Reactance بحيث تحدث خفضـــا فى قيمة تيار العطل بنســـبة حوالي 25- 60 % من قيمة أعلى تيار قصـــر فى حالة Solidly Earthed، ويجب ألا يزيد الخفض عن أكثر من ذلك لتجنب حدوث ارتفاع شـديد فى قيمة جهد نقطة التعادل. وغالبا يستخدم هذا النوع حين لا يكون تيار الأرضى المتوقع كبيرا، ففي هذه الحالة يمكن للـ Reactance أن تقوم بنفس وظيفة الـ Resistance في النظام السابق لكن بسعر أقل كثيرا.

ومن أشهر الأساليب التي تستخدم Coils في التأريض ما يعرف بـــ Peterson Coil وهو ملف له قيمة متغيرة يوضع كما في الشكل 6-3، والهدف منه الوصول للحالة النموذجية بأن تتساوى الـ Capacitance الخاصة بالخطوط، مع الـــ Inductance الخاصة بهذا الملف فعندها يتم إلغاء تأثير الـــ capacitive currents المسببة لـ Arcing Ground .

فمعلوم أنه حين يكون يرتفع الجهد على Phase أو أكثر ويحدث مرور لـــ capacitive current مرتفع خلال الـ Stray Capacitance لهذه الفازات ينتج عنه repeated arcs في النقاط التي عزلها ضعيف، فلو أمكن عمل cancellation لهذه التيار ($I_C = I_L$) ستتوقف هذه الــــ arc وهو ما يقوم به هذا الملف، ولذا يســـمى أيضـــا Resonance grounding . لكن يعيب هذا النظام أنه يحتاج لإعادة ضـــبط كلما تغيرت قيمة الـ Capacitance في المنظومة.



شكل 6-3

6-1-4 النظم المعزولة Isolated System

لاشك أننا يمكن أن نضيف لهذه الأنظمة نظاما آخر وهو عدم تأريض نقطة التعادل مطلقا، وقد أشرنا إلى هذا النظام فى بداية هذا الفصـــل وهذا النظام – وإن كان يبدو فى ظاهره إنه أكثر أمانا، إذ أن تيار العطل معدوم لعدم وجود مســـار يرجع من خلاله تيار العطل إلى المصـــدر، أو هو فى الواقع تيار صـــغير جدا، حيث سيتسرب فقط خلال المكثفات الشـاردة Stray Capacitance للجهاز وكابلاته، كما أن هذا النظام يعتبر الأكثر اقتصـــاديا لأن أجهزة الحماية الخاصـــة به أقل كلفة من تلك المستـخدمة مع التيارات العالية – لكنه فى الواقع يحمل نواة لمشاكل عديدة. منها على سبيل المثال :

- أن حدوث عطل ثانى قبل اكتشاف وإصلاح العطل الأول سيتسبب فى تيار قصر عالي.

- مرور تيار العطل خلال المكثفات ستتسبب حدوث شرارات متتابعة Repeated Arcing.
- سيحدث ارتفاع كبير فى جهد الجهاز بالنسبة للأرض.
- أضــــف إلى ذلك صـــــعوبة تحديد مكان العطل فى مثل هذه الأنظمة. ومن ثم فهى أنظمة نادرة الاستخدام.

وجميع الأجــــــــزاء التالية في هذا الفصــــــل تتعلق فقط بالنوع الأول من التأريــــــض وهو Safety Earthing.

2-6 كيف تحدث الصدمة الكهربية للإنسان؟

يمكن أن يصــاب الشــخص بصــدمة كهربية مباشــرة direct shock إذا لمس أى Phase ولمس فى نفس الوقت خط الـ Neutral، و يمكن أيضا أن يصـــــــاب بالصدمة المباشرة إذا لمــس أى two phase في منظومة 3-Phase system.



كما أنه يمكن أن يصــاب أى شـخص بصـدمة كهربية غير مباشـرة indirect shock، إذا قام فقط بلمس الطرف الحى الذى يسمى بالــــــ (Live Conductors) فى أى دائرة كهربية جهدها V، وفى نفس الوقت كان متصــلا بالأرض من خلال قدميه أو إحدى يديه أو أى جزء من جسـده، فعندئذ سيمر تيار كهربى فى جســد ذلك الإنســان، وهى تعتبر فى هذه الحالة صــدمة غير مباشــرة indirect shock لأنه لم يلمس الســلكين (Phase + Neutral) معا مباشــرة، وبالطبع فالفرق بين الحالتين فقط فى التســمية أما التأثير فمتشابه.

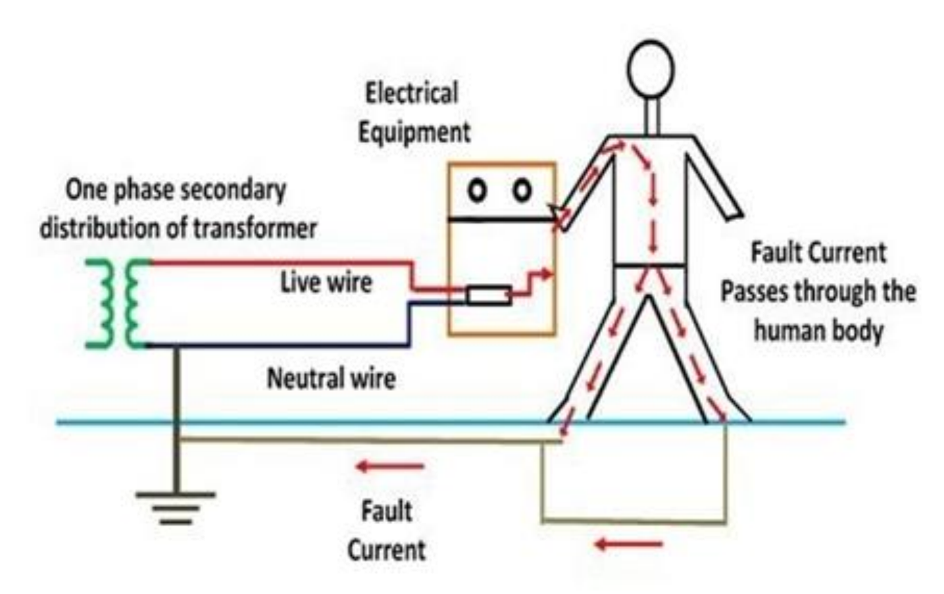


وشدة التيار الذى يمر فى جسم هذا الشخص يحسب من قانون أوم :

$$I_{body} = \frac{V}{R_{body}} \quad ....6-1$$

حيث I_{body} هو شدة التيار خلال جسم الإنسان، R_{body} هى مقاومة جسم هذا الإنسان.

لاحظ من شكل 6-4 أن التيار قد أكمل دائرته ليس من خلال خط التعادل Neutral، N كما فى الظروف الطبيعية، وإنما أكمل الدائرة من خلال جسم هذا الشخص ثم كتلة الأرض ومنها إلى المصدر مرة أخرى (Closed Loop) ، وبذلك تحقق الشرط الأساسى لمرور أى تيار فى جسم إنسان وهو : وجود فرق جهد على جسمه، وكون جسمه ضمن المسار المغلق لمرور التيار.



شكل 6-4

لكن هل كل إنسان يلمس جسما مكهربا سيصاب حتما بصدمة كهربية ؟ وهل دائما هذه الصدمة مميتة ؟ وما هى العوامل التى تجعل الصدمة خطيرة ؟. وما هو تأثير التيار الكهربى على جسم الإنسان ؟.

6-2-1 تأثير التيار الكهربي على جسم الإنسان

يسبب مرور التيار الكهربي في جسم الإنسان آثارا حرارية وتحليلية وبيولوجية، ويتمثل الأثر الحراري في الاحتراق الذي يصيب الأجزاء الخارجية للجسم بسبب سخونة الأوعية الدموية، و يتمثل الأثر التحليلي في تحلل الدم و السوائل الحيوية الأخرى مما يؤدي إلى إتلاف تركيبها الفيزيائي والكيميائي، و يتمثل الأثر البيولوجي في تهييج الأنسجة الحية الذي يمكن أن يترافق مع تقلصات تشنجية غير إرادية للعضلات بما فيها عضلات القلب و الرئتين، مما يؤدي إلى تمزق الأنسجة و اختلال عمليتي التنفس ودورة الدم.

و تختلف شدة تلك الآثار ودرجة خطورتها تبعا لثلاثة عوامل رئيسية هي:

1. مسار التيار في جسم الإنسان.
2. شدة التيار المار في جسم المصاب.
3. الفترة التي يبقى المصاب خلالها تحت تأثير الصدمة الكهربية.

6-2-2 تأثير مسار التيار الكهربي في الجسم

يتحدد مسار التيار الكهربي في جسم الإنسان بمنطقتين (أو نقطتين) هما : مكان دخول التيار إلى جسم الإنسان، ومكان خروج التيار من جسم الإنسان. وقد يكون هذا المسار قصيرا (بين نقطتين على اليد أو القدم مثلا) ، أو قد يكون طويلا من يد إلى اليد الأخرى، أو بين اليد و القدم.

لكن المسار الأكثر خطورة هو من اليد إلى اليد الأخرى مرورا بالقلب حيث قد يسبب الوفاة الفورية. ولذا ينصح أحيانا بوضع اليد اليسرى فى جيب البنطلون وقت التعامل مع الأسلاك الكهربية الخطرة، وهذا لن يمنع حدوث الصدمة إذا لامس الشخص سلكا مكشوفا، لكن سيجعل مسار التيار لا يمر عبر القلب لوجود اليد اليسرى غير ملامسة لأى نقطة مؤرضة (earthed point) .

6-2-3 تأثير شدة التيار المار في الجسم

إن خطورة الكهرباء وآثارها على جسم الإنسان تزداد بازدياد شدة التيار المار فيه، وتتحدد قيمة التيار الكهربي المار في جسم الإنسان بعاملين :

1. الأول: جهد الموصـل الذى لامسـه الشـخص، حيث تتناسـب خطورة الصـدمة مع ارتفاع قيمة هذا الجهد.
2. الثاني : المقاومة الكهربية لجسم الإنسان، حيث تؤثر قيمتها مباشرة على شدة التيار ولكن بتناسب عكسي، أي يكون تيار الإصـابة كبيرا إذا كانت المقاومة الكهربية لجسم الإنسان صـغيرة، والعكس بالعكس.

وتتأثر قيمة مقاومة جسم الإنسان بمدى رطوبة الجلد، وسمك طبقة الجلد، فتنخفض المقاومة بشدة إذا كان الجســم رطبا، و ترتفع قيمتها إذا كان الجلد سـميكا، ولهذا فمقاومة الرجل دائما أعلى من مقاومة المرأة لأن جلده أسـمك، وبالتالى فالمرأة دائما أكثر عرضــة للخطورة فى حالة الصــدمات الكهربية من الرجل.

والقيم التقريبية التالية فى الجدول 6-1 تبين المدى الذى يسبب خطورة قيمة شدة التيار على الإنسان.

جدول 6-1 : خطورة الصدمة حسب قيمة التيار

شدة التيار (مللى أمبير)	التأثير على الإنسان
0-10	لا يشعر به الإنسان.
10-50	يشعر الإنسان بالتيار ويصاب برعشة (تقلص فى العضلات) تأخذه فى الغالب بعيدا عن مصدر الصدمة الكهربية.
50-100	يتوقف مركز رد الفعل اللاإرادي بالمخ مما يترتب عليه عجز الشخص عن تخليص نفسه من الدائرة.
100-150	موت إكلينيكي (يمكن إنقاذ الشخص بإجراءات التنفس الصناعي CPR)
150-200	موت محقق.
أكثر من 200	احتراق الجسم.

6-2-4 تأثير زمن مرور التيار في الجسم

العامل الثالث المؤثر على خطورة الصدمة هو مدة سريان التيار فى الجسم، فالتيار الصغير إذا استمر فى المرور بالجسم لمدة طويلة ربما يصبح أكثر خطورة من التيار المرتفع الذى يمر لبرهة قصيرة فقط. والجدول 6-2 يبرز علاقة شدة التيار وخطورته بمدة مروره.

وهناك معادلة تقريبية لحساب أقصى تيار آمن (*I*) خلال فترة زمنية معينة (*t*) :

$$I = \frac{116\ mA}{\sqrt{t}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6-2$$

فعلى سبيل المثال يمكن من المعادلة السابقة أن نقول أن أقصى تيار <u>آمن</u> يمر فى جسم شخص لمدة 100 ثانية هو 11 مللى أمبير.

جدول 6-2: خطورة الصدمة حسب زمن مرور التيار

أقصى التيار (مللى أمبير)	مدة السريان	التأثير البيولوجي
0 – 0.5	مستمر	ليس له تأثير
0.5 – 5	مستمر	يشعر به الإنسان لكنه يمكنه التخلص من الدائرة
5– 30	دقائق	يصعب الانفصال عن مصدر الكهرباء
50 – 30	ثوانٍ	عدم انتظام ضربات القلب – إغماء
أكثر من عدة مئات	أكثر من 20 مللى ثانية	إغماء – موت

ولتلافي الآثار الناجمة عن مرور التيار الكهربي في جسم الإنسان فإن هناك أمران مهمان يجب مراعاتهما لمواجهة مخاطر **الصدمة** الكهربية :

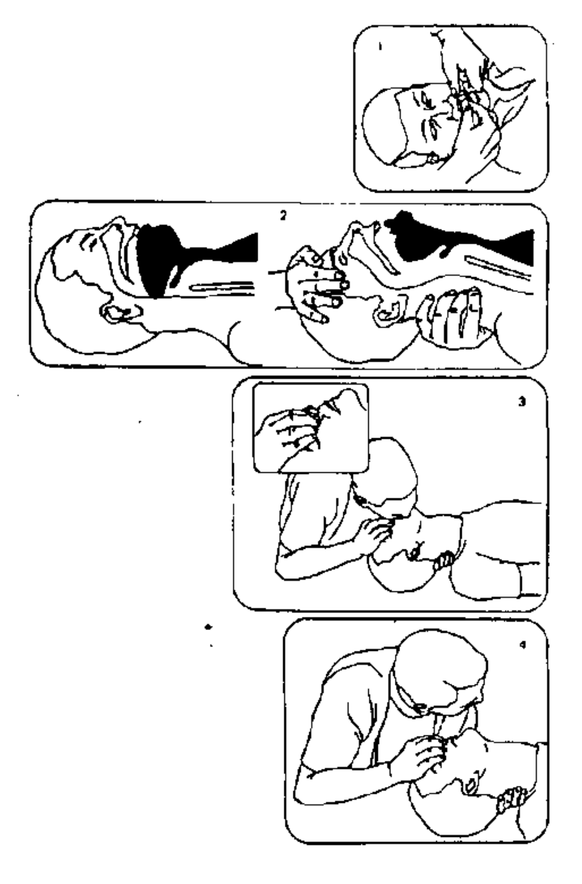
- الأول هو العزل الكهربي، بمعنى أن يقف الإنسان دائما على شيء عازل عند تعامله مع الدوائر الكهربية التى تحمل جهدا كبيرا، أو يلبس فى يديه قفازا عازلا.
- والثاني هو التأريض، وهو الموضوع الأساسى لهذا الفصل.

6-2-5 الإسعافات الأولية للمصاب بالصدمة الكهربية

ونختم هذا الجزء بإشارة سريعة إلى الإسعافات الأولية للمصاب بصدمة كهربية. ونشير هنا إلى أنه عند ملاحظة أي شخص يتعرض لصدمة كهربية فإنه يجب الاهتمام و العمل على إنقاذه مهما كانت حالته لأن الذى صعق بالكهرباء قد يبدو ميتا لكنه في الواقع يحتاج فقط للـــ CPR أو تنفس صناعي لإنقاذه، وعلى العكس من ذلك، فقد يبدو الشخص الذي أصيب لتوه بالصدمة الكهربية و أغمى عليه ثم أفاق قد يبدو إنه صار طبيعيا ولم يتأثر بالحادث، و لكن بعد ساعات قد يسقط ميتا. ولذا نشير هنا إلى أن أى الشخص نجا من صدمة كهربية وأغمي عليه وقتها فإنه - حتى لو سار على قدميه - يجب عليه مراجعة الطبيب لأن الصدمة قد تكون قد سببت جلطة قد تودي بحياته بعد ذلك.

و تعتمد الإسعافات الأولية على الحالة التي يكون عليها المصاب بعد تخليصه من التيار الكهربي، فمثلا إذا كان المصاب قد عاد إلى وعيه بعد أن فقده نتيجة للصعقة فيجب وضعه في مكان مناسب ودافئ ثم يفرش تحته و يغطى بأي نوع من أنواع الألبسة و يترك بهدوء دون أن يزعجه أحد مع المراقبة المستمرة لتنفسه و عمل قلبه حتى يحضر الطبيب، و لا يسمح للمصاب بالتحرك أو متابعة العمل حتى و لو لم تبدو عليه أي علامات سيئة بعد الإصابة. أما إذا فقد المصاب وعيه (حالة إغماء) مع استمرار عمل جهاز تنفسه و قلبه، ففي هذه الحالة يجب تمديد المصاب على أرض مريحة و تفك عنه الأحزمة و الألبسة الضيقة و يبعد عنه الأشخاص المحيطين به لتأمين استنشاق الهواء النقي و يؤمن له الهدوء التام، و يمكن تدليك جسد المصاب ورش وجهه بالماء أو تشميمه قطعة قطن مبللة بالنشادر ريثما يحضر الطبيب.

فإذا كان المصاب لا يتنفس و توقف قلبه عن العمل فمن الضروري في هذه الحالة العمل على إعادة الحياة له بطريقة إجراء عملية التنفس الصناعي (شكل 6-5) والقيام بتدليك خارجي للقلب، ويجب التذكر بأن الفترة التي يمكن فيها إنقاذ حياة المصاب هي الفترة التي لا يزيد فيها توقف القلب عن 4-5 دقائق، لذا فإن تقديم الإسعافات الأولية يجب أن يكون بالسرعة القصوى و في مكان الإصابة ثم نقله بعد ذلك إلى أقرب مكان مناسب و إجراء الإسعافات الأولية له.



شكل 6-5

6-2-6 مخاطر أخرى للكهرباء

الصــــدمة الكهربية ليســـت الخطر الوحيد المرتبط بالكهرباء، لكنه الخطر الأكبر للمتعاملين مع التركيبات الكهربية فى البيوت، وهناك خطر آخر هو الحرائق، وغالبا يبدا الحريق بتحميل زائد على الأسـلاك أو ترك السلك بجوار مدفأة مثلا كما فى شكل 6-6.



شكل 6-6

فمرور التيار المرتفع يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة السلك ومن ثم يحترق العازل ويحدث Short فيمر تيار هائل يتسبب فى احتراق أى جسم ملامس للسلك.

أما الذين يتعاملون مع الكهرباء ذات الجهد العالي فيضاف لهم خطران آخران هما :

- Arc Flash (وميض يسبب أذى بصرى)
- Arc Blast (انفجار يسبب أذى سمعى)

ويحدث الشـــرز أو الفرقعة فى حالة مرور تيار عالي من موصـــل لآخر أثناء تشـــغيل أو إيقاف الدائرة الكهربية. كما يمكن أن يحدث الشرز والفرقعة عند تفريغ الشحنات الكهربية الساكنة.

ويمكن أن يتسبب حدوث short circuit فى دوائر الجهـــود العالية فى حدوث وميـــــــــض هائل Arc Flash قد يؤذى العين ويسـبب حروق، لكن الأخطر من ذلك أن يترتب عليه حدوث انفجار، فتتناثر أجزاء من الموصـــلات بطاقة هائلة مثل طلقات الرصـــاص تماما كما فى شـــكل 6-7، وهو موضــوع فى غاية الأهمية و قد يتسبب أيضا فى حدوث وفيات.



شكل 6-7

3-6 مخاطر الكهرباء الساكنة

الكهرباء الساكنة (static electricity) هي فرع العلم الذي يتعامل مع ظاهرة الانجذاب الكهربي. منذ التاريخ القديم. ومعروف أن بعض المواد تجذب الحبيبات الصغيرة بعد دعكها (rubbing) . وظاهرة الكهرباء الاستاتيكية جاءت من القوى الكهربية التي تحدث بين الشحنات المختلفة. وتنشأ الكهرباء الساكنة بسبب تجمع إلكترونات أو غيابها في منطقة ما، وهي ظاهرة طبيعية، ولكن تكمن المشكلة في تجمع الشحنات على جسم ما للحد الذي يشكل انتقالها إلى جسم آخر حدوث شرارة كهربية.

عند تحرك هذه الشحنات يحصل سريان لحظى للتيار الكهربي، كما تحصل شرارة كهربية عند تحرك الشحنات من موقع إلى آخر عبر الجو، أي عندما تقفز تلك الشحنات من جسم ذو كمية عالية من الشحنات إلى الجسم الآخر ذو شحنات أقل.

يمكن ملاحظة هذه الظاهرة يوميا عند خلع الملابس المصنعة من النايلون أو البوليستر في غرفة مظلمة ليلا فسنلاحظ ظهور شرر وصوت لفرقعات بسيطة وهذا نتيجة لانتقال الشحنات الكهربية. كذلك يمكن ملاحظة هذه الظاهرة عند تقريب ذراعنا من شاشة التلفاز فسنلاحظ وقوف شعر اليد وانجذابه إلى شاشة التلفاز.

وتشكل هذه الظاهرة مشكلة كبيرة في الصناعة والمعامل وخصوصا في الصناعة النفطية والغازية مثلا، فإن انتقال الشحنات قد يسبب شرارة قد تكون كافية لاشتعال الغازات والأبخرة المتواجدة بالموقع.

وتجاوز مشاكل هذه الظاهرة بسيط في ظاهره وهو جعل كافة الأجسام متعادلة بحيث لا تتجمع الشحنات عليها، وبالتالي لن يكون هناك تجمع للشحنات على جسم ما يفوق ما هو متجمع على الجسم الآخر. و لذا فمن المهم ربط جميع الأجسام المعدنية في المعمل مع بعضها، وربطها مع الأرض من خلال نظام للتأريض بهدف تفريغ كل الشحنات الكهربية المتجمعة إلى الأرض.

ومن الجدير بالذكر أن الكهربية الساكنة (الاستاتيكية) تستقر على سطوح الأجسام دائما وذلك لأن الشحنات المتولدة على الجسم تكون من نوع واحد ونتيجة لذلك تنشأ قوى تنافر فيما بينها فتحاول أن تأخذ أقصى مسافة فيما بينها فتتجه إلى الخارج. وعلى هذا الأساس لا يصاب ركاب الطائرة بالصاعقة عند مرورهم من خلال سحب مشحونة لأن الشحنات تستقر على سطح الطائرة ولا تدخل إلى الداخل.

وتكون ظاهرة الكهروستاتيكية ملحوظة أكثر في الشتاء حينما يكون الهواء جافاً، أما في الصيف فالهواء يكون عالي الرطوبة فلا تلحظ ظواهر الكهرباء الساكنة. لأن الماء يساعد في انتقال الإلكترونات بعيداً عن جسمك وبذلك لا تتكون شحنة عالية عليه وتشكل خطراً عليك.

6-3-1 متسلسلة التريبو الكتريك:

عندما تدلك مادتين مختلفتين ببعضهما فمن منهما ستصبح موجبة ومن ستصبح سالبة؟؟.

لقد رتب العلماء المواد حسب قدرتها على الاحتفاظ بإلكتروناتها أو لخسارتها. هذا الترتيب أطلق عليه (متسلسلة التريبو الكتريك)، وعموما، إذا دلكت مادتين معاً، فإن المادة التي تكون أقرب إلى أعلى السلسلة تفقد إلكترونات وتصبح موجبة والمادة التي في أسفلها تكتسب الإلكترونات وتصبح سالبة. ومتسلسلة التريبو الكتريك هى :

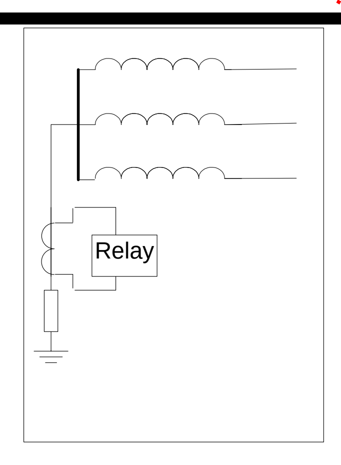
1-اليد	2-الزجاج	3-الشعر	4-النايلون
5-الصوف	6-الفرو	7-الحرير	8-الورق
9-القطن	10-المطاط	11-البوليستر	12- البلاستيك.

6-4 أساسيات التأريض وأهميته

قد يشعر الشخص العادي بعدم وجود أى تأثير للأرضي على المنظومات الكهربية أو الأجهزة أثناء الظروف الطبيعية للتشغيل، مما يعطي انطباعا خاطئا بأنه من الممكن فصل الأرضي بدون أي تأثيرات سلبية، ونتيجة ذلك يبدو (ظاهريا فقط) بأن موضوع التأريض الجيد ليس ذا أهمية.

والحقيقة أن التأريض نوعان كما ذكرنا في المقدمة :

فالنوع الأول وهو الـ Power Earthing لا يظهر تأثيره لغير المتخصص، ففى شكل 6-8 لو أن نقطة التأريض أصابها الصدأ مثلا وصارت مفصولة فلن يشعر أحد بهذه المشكلة حتى يحدث عطل ويكتشف مهندس الوقاية أن جهاز الوقاية لم يعمل.



شكل 6-8

أيضـا، فإن اسـتخدام شـبكة أرضـية ذات مقاومة كهربية منخفضـة قدر الإمكان سـيؤدى إلى سـريان تيارات الأعطال خلال هذه الشــبكة بقيم محســوســة عند حدوث Short للدائرة الكهربية مع الأرض، وهو هدف نســعى إليه، فكلما كان تيار العطل أكبر من التيار الطبيعي كلما كان من الســهل على أجهزة الوقاية أن تكتشــفه، وبالتالي تقوم بقطع التيار بســرعة عن الجزء الذى به عطل، أي عزله عن الأجزاء الســليمة من الدائرة الكهربية ((fault clearing خلال وقت قصـــير جدا، وبذلك تتوفر الحماية الكافية للأجهزة من الأعطال. وهذا بالطبع لا يشعر به الإنسان العادى.

أما النوع الثانى وهو الـــــ Safety Earthing، فالمشكلة فيه أعقد، لأنه لو تم فصل موصل التأريض فسـيسـتمر الجهاز في العمل مما يعطى انطباعا خاطئا بأن التأريض غير مهم . والصــحيح أن الجهاز سيتمر في العمل لكن لو حدث أن تسريب داخلى وأصبح جسم الجهاز مكهربا فعندها سيعلم الجميع قيمة منظومة الأرضى.

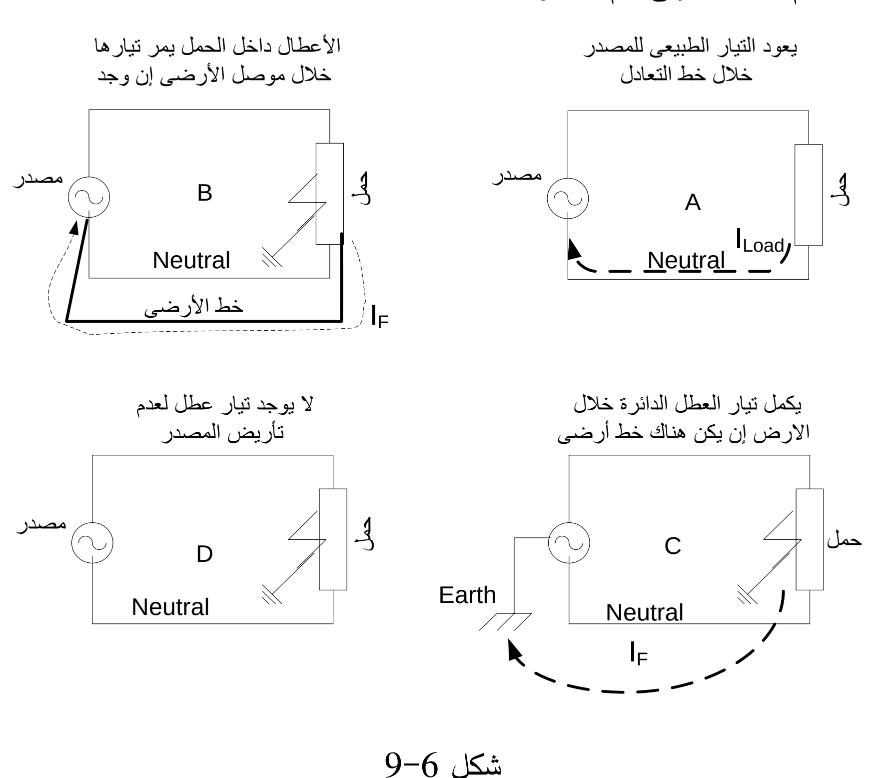
ويجب أن يكون واضحا أن هناك أهداف أخرى تتحقق من التأريض السليم بخلاف حماية الأفراد المتعاملين مع المعدات الكهربية، منها تقليل فرص حدوث الحرائق، فالذى قد يغيب عن البعض أن كثيرا من الحرائق يرجع الســبب الرئيســي فيها إلى عيوب فى نظام الأرضــي، أو عدم وجوده أصــلا. وبعض الحرائق فى المنشآت الصناعية يرجع السبب الرئيسي فيها إلى تراكم شحنات استاتيكية، والتى قد تنشا مثلا نتيجة دوران ســير مطاط بين بكرتين معدنيتين، ويؤدى تراكم هذه الشــحنات فى النهاية إلى حدوث تفريغ كهربى Electric Discharge ذي حرارة عالية كافية لإشــعال حريق، ما لم يتم تأريض هذه البكرات. كما أن الصــواعق البرقية (lightning) يمكن أن تؤدى إلى حرائق ما لم يكن هناك نظام حماية ســليم. وكل هذه المشاكل يمكن تجنبها باعتماد نظام تأريض مناسب.

6-4-1 الفرق بين الـ Neutral وبين الـ Ground

لابد من أن يفرق القارئ بين خط الأرضي Ground، وخط التعادل Neutral، فخط الـــ Neutral يعود خلاله التيار الطبيعي إلى المصـــدر كما في شـــكل 6-9 (A)، أما خط الأرضـــي – إن وجد – فإن تيار العطل و نقصد بالطبع الـ Ground Faults سيعود من خلاله للمصدر كما في شكل 6-9 (B).

فإن لم يكن هناك خط أرضي فإن تيار العطل سيسلك أقصر مسار من خلال تربة الأرض حتى يرجع إلى المصـدر كما فى شـكل 6-9 (C)، وعندها سـيتوقف قيمة تيار العطل على مقاومة كتلة الأرض التى مر خلالها تيار العطل، فهى يمكن أن تكون ذات مقاومة منخفضـــة جدا إذا كانت رطبة وتحتوى على أملاح، فعندها ستصبح الأرض وكأنها موصل تماما.

لكن ماذا لو كانت كتلة الأرض فى هذه المنطقة ذات مقاومة عالية جدا ؟ وماذا لو كان مصـــدر التغذية نفســه غير مؤرض؟ عندها ســنعتبر المنظومة معزولة Isolated System، وهنا لن يكون هناك تيار للعطل أصـــلا كما فى شـــكل 6-9 (D) وبالطبع فعدم مرور تيار للعطل لا يعنى أن هذا النظام الأخير أفضل من غيره، بل العكس هو الصحيح، حيث سيترتب على عدم وجود مسار لمرور تيار العطل حدوث ارتفاع فى جهد جسم المعدات إلى قيم خطيرة.



شكل 6-9

6-4-2 ماهي الأرض؟

نستخدم هذا المصطلح كثيرا : " الأرض"، فما هى الأرض؟

الأرض التى مقاومتها صفر غير موجودة عمليا، ولكن الأرض المنخفضة المقاومة هى الجزء الذى به مياه جوفية، وليس بالضـــــرورة أن تكون أنهارا تحت الأرض بل يكفى أن تكون الأرض رطبة وبها أملاح حتى نطلق عليها لفظ الأرض كهربيا.

وقد يتساءل البعض :

1- ما هي شحنة الأرض بمعني هل هي موجبة الشحنة أم سالبة الشحنة ؟

2- هل الأرض تبتلع أى شحنات؟، بمعني أن التيار يتسرب فيها مثل تيار الصواعق أم هي مثل السلك (مقاومته من 1 إلى 5 أوم) يرجع التيار من خلالها؟

3- أين الدائرة المغلقة التى يجب أن يمر فيها التيار الكهربي فى حالة ظاهرة الصواعق مثلا؟

بالنسبة للسؤال الأول فالأرض شحنتها سالبة لكن الغلاف الجوى شحنته موجبة (مثل spherical capacitor)، و بالتالى الأرض ككل متعادلة الشحنة، ووجود هذا الاختلاف فى الشحنات هو السبب فى تكون ما يعرف بالمجال الكهربى للأرض، لكن المهم فى هذه الجزئية أن الأرض أكبر من أن يؤثر فيها أى شحنات فلا يتغير جهدها ويظل جهد الأرض يساوى صفر.

أما السؤال الثاني والثالث فمرتبطين ببعضهما البعض. وبداية يجب أن نفرق بين نوعين من الكهرباء : الكهرباء الساكنة والكهرباء الديناميكية. فالقوانين التى درسناها وعرفنا منها أن التيار يسير فى دائرة مغلقة تنطبق فقط على النوع الثاني ولا تنطبق على الكهرباء الساكنة. لأنه فى حالة الكهرباء الساكنة فالشحنات تنتقل من جسم لآخر ولا تحتاج لهذا المسار المغلق، ومن ثم يمكن الآن فهم مسار تيار الصواعق فالشحنات فيه تنتقل من السحب إلى الأرض لكن جسم الأرض ضخم فلا يتأثر بهذه الشحنات ولا يتغير جهد الأرض ويظل نظريا يساوى صفر.

أما فى حالة الكهرباء المتحركة مثل التيار المتولد من مولد كهربى فالأرض بالنسبة له هى سلك ذو مقاومة منخفضة حسب نوعية التربة، والتيار يمر فيها ليكمل الدائرة، بشرط أن يكون المولد نفسه مؤرض Grounded.

6-4-3 المجال المغناطيسي للأرض

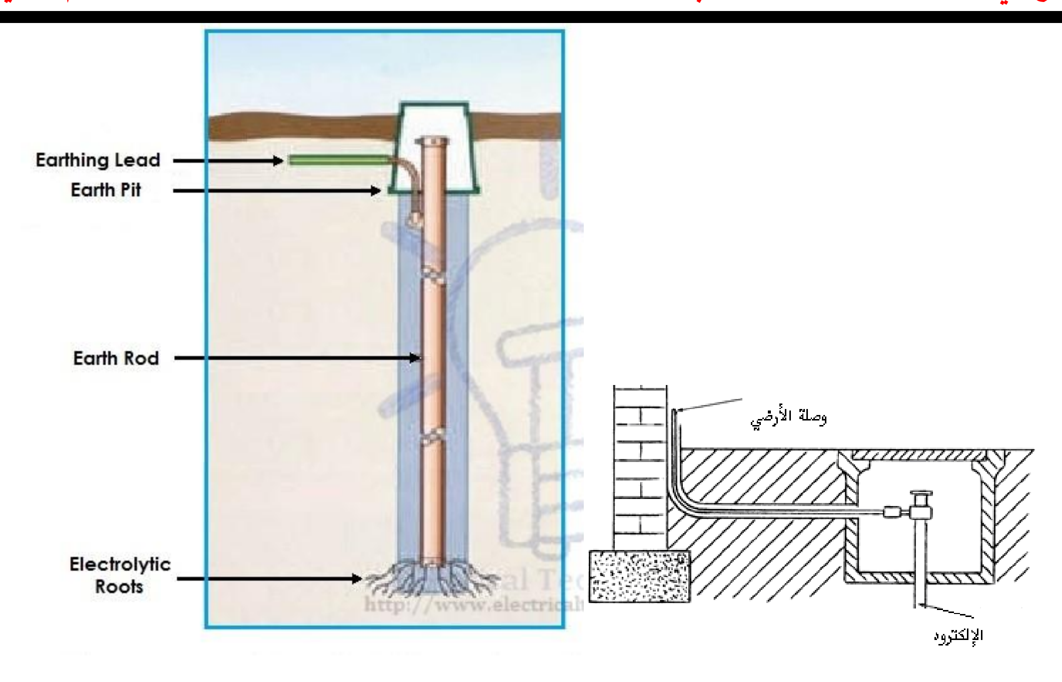
الأرض هي الوحيدة من الكواكب الصخرية في النظام الشمسي التي تملك مجالاً مغناطيسياً. ولهذا المجال المغناطيسي أهمية كبيرة للحياة على الأرض، وذلك لأن الرياح الشمسية تسبب تآكل الغلاف الجوي (وهذا ما يحدث في بقية الكواكب الصخرية في النظام الشمسي، حيث تآكل جزء كبير من أغلفتها الجوية). بينما يعمل المجال المغناطيسي للأرض على حمايتها من الرياح الشمسية ويمنع وصولها إلى الغلاف الجوي. إضافة إلى ذلك، لولا المجال المغناطيسي لما وُجد اختراع البوصلة (لأن البوصلة تتجه نحو القطب الشمالي المغناطيسي للأرض)، والتي كانت لها أهمية كبيرة عبر العصور في معرفة الاتجاهات أثناء السفر والترحال.

6-5 مكونات نظام التأريض

يمكن الحصول على أرضي مناسب للدور السكنية مثلا باستخدام إلكترود معدني Electrode واحد أو أكثر، يدفن في التربة لغرض تحقيق التماس مع كتلة الأرض. وتتوفر هذه القضبان المعدنية على شكل مواسير مستديرة يمكن ربطها ببعضها البعض لغرض الحصول على Electrode بالطول المطلوب، وتغرز في الأرض driven in ground للوصول إلى طبقات الأرض ذات المقاومة النوعية المنخفضة Low Resistivity، وبالتالي الحصول على مقاومة أرضية منخفضة.

ومن هنا يمكن أن نقول أن منظومة الأرضي فى صورتها البسيطة تتكون كما فى شكل 6-10 من:

1- تربة لها مقاومة نوعية Resistivity مناسبة.
2- الإلكترود Earth Rod المدفون لعمق مناسب.
3- وصلة الأرضي Earthing Lead، أو موصلات التأريض التى تصل بين الإلكترود وبين الأجسام المراد تأريضها.



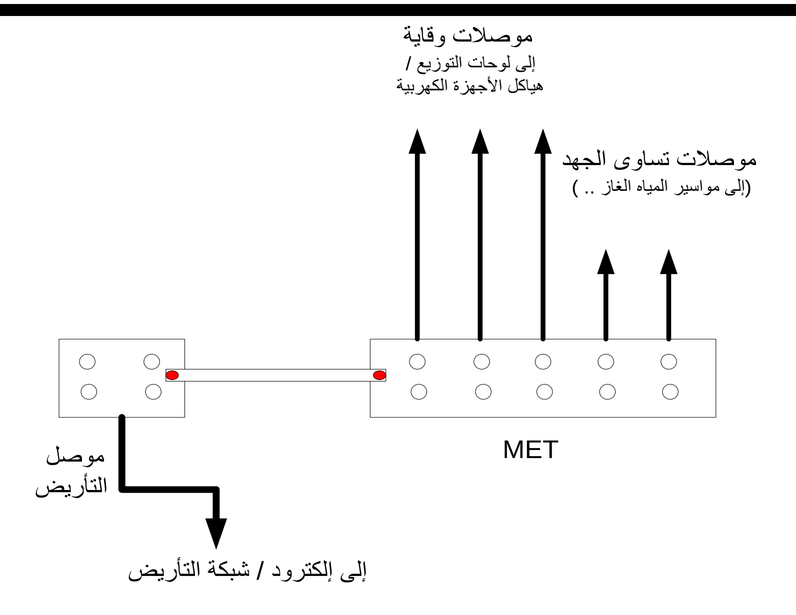
شكل 6-10

وتظهر علاقة هذه المكونات ببقية المنظومة الكهربية فى شكل 6-11. حيث يظهر لدينا عنصر مهم هو Main Earthing Terminal (MET) وهو يعتبر موزع الأرضي الرئيسي، فهو عبارة عن Bus Bar، BB تخرج منه موصلات الوقاية Protective Conductors:

4- إلى BB الأرضي فى كافة لوحات التوزيع الفرعية والعمومية.

5- ويخرج منه كذلك موصلات الوقاية إلى كافة الأجسام المعدنية القريبة والتى لا تحمل تيارا أصلا (مواسير الغاز / المياه، الشبابيك / الأبواب المعدنية إلخ) وهى التى تعرف بموصلات الجهد المتساوى Equi Potential Conductors.

ويتصل الـ MET بإلكترود التأريض بواسطة موصل التأريض Conductors Earthing، ومن هنا وجب التمييز بين موصلات الوقاية وموصلات التأريض. فالأولى تتصل بالأجسام المراد تأريضها وبموصل التأريض في اللوحات، والثانية تتصل من جهة بالـ MET، ومن جهة أخرى بشبكة الأرضي.



شكل 6-11

وتتأثر قيمة مقاومة الأرضي التى نحصل عليها بعدة عوامل من أهمها:

- مقاومة الأرض التى تدفن فيها الإلكترودات.
- نسبة الرطوبة فى التربة.
- عدد إلكترودات التأريض.
- عمق الدفن.

6-5-1 التربة

يجب أن تكون الأرض مناسبة من حيث انخفاض المقاومة النوعية للتربة (Resistivity Soil)، و إمكانية وضع إلكترودات التأريض. والجدول 6-3 يعطى قيم تقريبية للمقاومة النوعية لأشهر أنواع التربة.

جدول 6-3 : المقاومة النوعية لبعض أنواع التربة

نوع التربة	المقاومة النوعية Ω.m
التربة الطينية	150-40
الصلصال	Above 200
التربة الرملية	250-500
الأرض الصخرية	Above 1000

لاحظ أن قيمة المقاومة النوعية للتربة ليســت قيمة محددة بل تتغير أحيانا فى مدى واســع، حيث تتوقف مقاومة التربة على نوعية وكمية الأملاح بها، ومســامية حبيباتها، وكذلك نسـبة الرطوبة، وهو عامل شـديد التأثير على قيمة المقاومة الأرضـية، فإلكترودات التأريض معرضـة لمرور تيارات القصـر شـديدة الارتفاع، ومن ثم فيمكن أن تســخن لدرجة عالية تبخر رطوبة التربة، بل ربما تظهر بعض الأبخرة إذا كانت مدة القصــر طويلة نسـبيا، وهنا تظهر المشـكلة الأكبر وهى ارتفاع قيمة مقاومة الأرضــي لقيم خطيرة. ولمنع حدوث ذلك يجب ألا يزيد قيمة تيار القصر لكل متر من طول الإلكترود عن القيمة المحسوبة من المعادلة التالية :

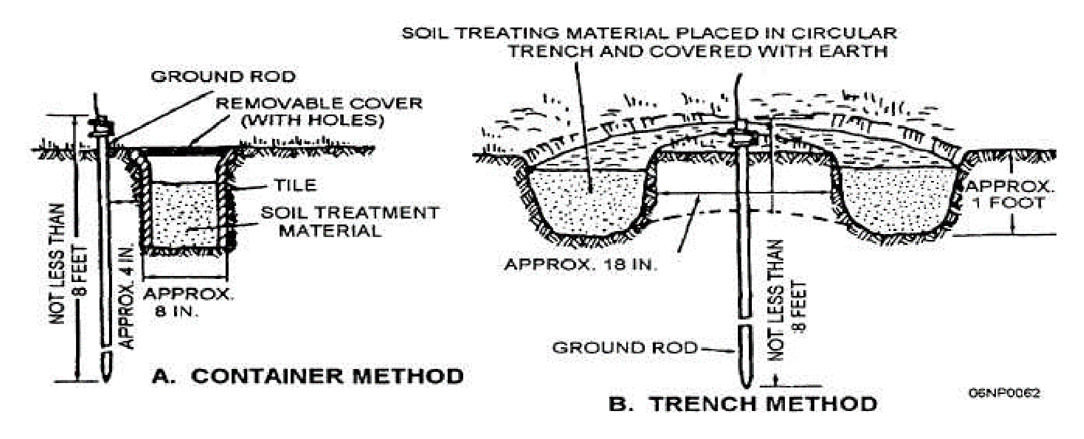
$$I = \frac{34800 \times d \times L}{\sqrt{\rho t}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6-3$$

حيث d هو قطر الإلكترود، و L طول الإلكترود، و t زمن مرور تيار القصر.

فإذا كانت المقاومة النوعية للتربة عالية ρ، و المســاحة محدودة، وإمكانية دفع الإلكترودات إلى أعماق كبيرة غير ممكنـة لوجود طبقات ســفلية صــخرية مثلا ففي هذه الحالـة يمكن علاج التربـة المحيطـة بالإلكترودات كيميائيا لتقليل مقاومة التربة، و يتم ذلك إما باسـتخدام ملح كبريتات المغنيسـيوم، أو كبريتات النحاس، أو الفحم، أو ملح كلوريد الصوديوم " الملح العادي"، أو إضافة برادة الحديد.

ويتم ذلك بعمل حفرة مجاورة لإلكترود التأريض (شـكل 6-12) وتبعد عنه مسافة لا تزيد عن 10 ســـم (10 in)، وتملأ بأحد الأملاح الســابقة حتى منسـوب 30 سـم (1 قدم) من سـطح الأرض. كما يمكن كأسلوب آخر عمل خندق محيط بالإلكترود بحيث لا يقل قطره عن 45 سم، وبعمق 30 سم، ويملأ بالمادة الكيميائية، على ألا يكون هناك اتصــال مباشــر بين المواد الكيميائية والإلكترود حتى لا يتســبب ذلك فى

تكوين طبقة صـــدأ. ويفضـــل ألا تقل كمية الملح عن 20 كجم، ويتم غمرها بالماء فى بادئ الأمر حتى تتســرب فى التربة المحيطة ثم تقوم مياه الأمطار بهذه المهمة فيما بعد. و رغم أن كبريتات المغنيســيوم أفضــل من حيث (التآكل) الكيميائي إلا أن كلوريد الصــوديوم أرخص بكثير و يفي بالغرض، خاصــة إذا وضع في خندق يحيط بالإلكترود.

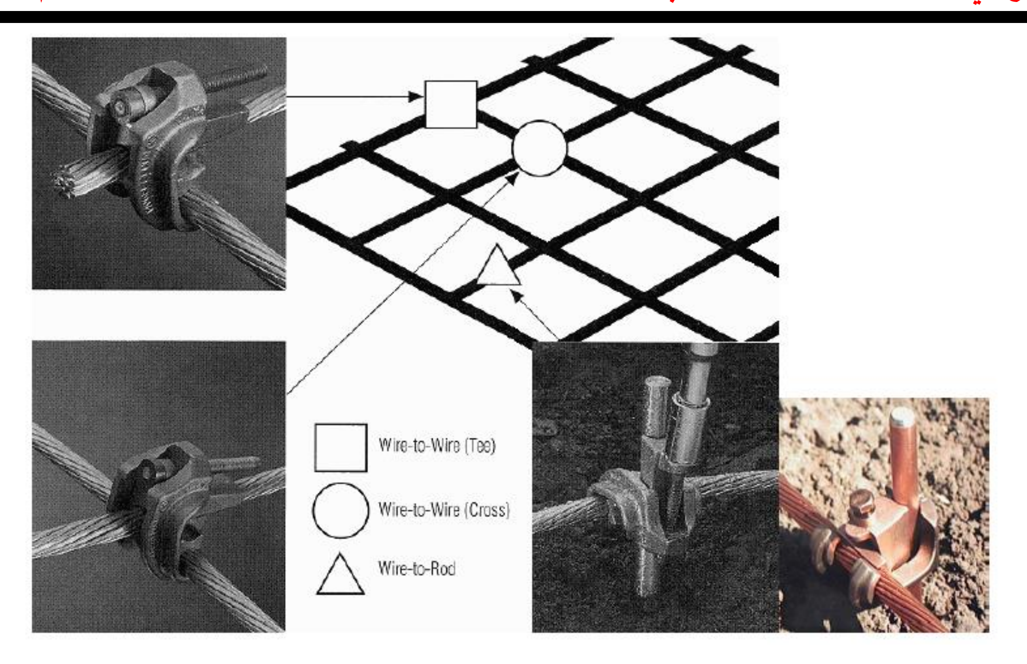


شكل 6-12

و من الواضــح أن هذه الطريقة لتقليل مقاومة الأرض هي طريقة مؤقتة نظرا لاختفاء الملح تدريجيا بســبب سقوط الأمطار و الصرف الطبيعي، و لذلك يجب تجديد شحنة الملح كل عامين على الأكثر – طبقا لكمية المطر و مسامية الأرض.

و إذا كان عنصر المتابعة و الصيانة غير متوفر فيفضل عدم استخدام هذه الطريقة مهما كانت اقتصادية، ويجب فى هذه الحالة اللجوء إلى الطرق الأخرى لخفض المقاومة مثل زيادة عدد الإلكترودات أو عمل شبكة تأريض Grid (حصيرة).

وهذه الحصــيرة (Mesh) تكون مكونة من مجموعة من الإلكترودات نحاسـية مدفونة، وتترك مســافة تتراوح بين 3 و5 متر بين كل إلكترود والآخر، ثم توصل جميع هذه الإلكترودات بشبكة من كابلات نحاسية جيدة اللحام فى جميع التقاطعات. ويكون الشـــكل النهائى كما فى شـــكل 6-13. (لاحظ أن أســـلوب الربط المستخدم فى شكل 6-13 هو الربط الميكانيكى، ويمكن استبداله بنظام لحام البارود.)



شكل 6-13

6-5-2 إلكترود التأريض

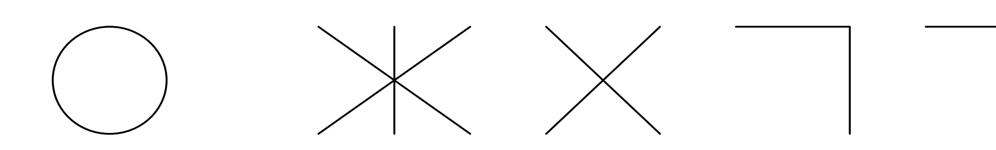
إلكترودات التأريض هى القضـــبان المعدنية التى تدفن فى الأرض ويتم لاحقا توصـــيل الأجهزة المراد تأريضـــها بها من خلال "وصـــلة الأرضـــي". وتعتبر القضـــبان الرأســـية المدفونة بالأرض Driven Electrodes أنسب وأرخص أنواع الإلكترودات، حيث يتم دفعها لمسافة لا تقل عن ثلاثة أمتار فى عمق الأرض، ثم يتم توصيل وصلة الأرضي بطرفها كما في شكل 6-14.

وغالبا يكون الإلكترود من النحاس، و من الصـــعب أن يكون الإلكترود ذو الثلاثة أمتار مكونا من قطعة واحدة بل غالبا يكون من أجزاء ذات طول قياســـى، ثم يتم عمل ربط Coupling بينها للوصـــول للطول المطلوب. مع ملاحظة أن مقاومة الأرضي لا تتأثر كثيرا بقطر الإلكترود لكنها تتأثر أساسا بطوله.



شكل 6-14

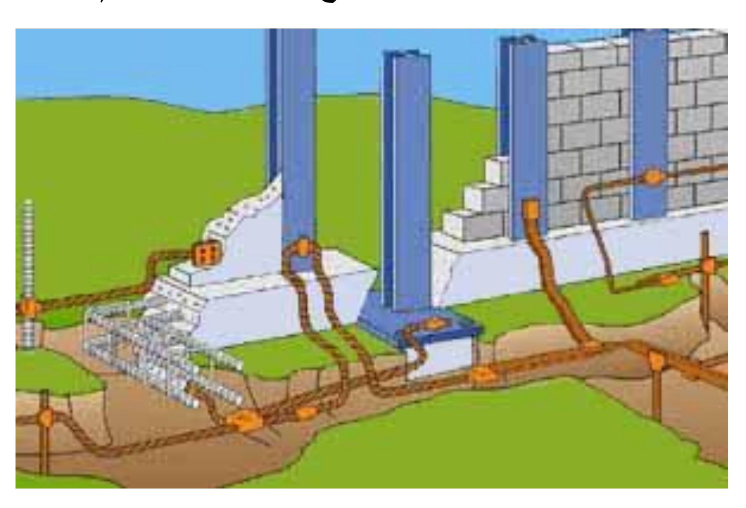
فإن وجدت صــخور مثلا قريبة من سـطح الأرض وتعذر دفع الإلكترود رأسـيا فإنه يمكن اسـتخدام شـرائح معدنية قصــيرة تســمى إلكترودات ســطحية، حيث تدفن أفقيا على عمق حوالى متر، وتأخذ أحيانا شــكل النجمة أو الزاوية أو حتى خطوط مستقيمة وتتصل ببعضـها البعض كما فى شكل 6-15، ومن ثم تتصل بالـ MET الخاصة بالأرضي في المبنى.



شكل 6-15

ويمكن أيضا أن يدفن شريط من الصلب متصل (مقطعه: $4 \times 25\ mm^2$) داخل أساس المبنى، على أن يبرز من هذا الشريط طرف توصل به لاحقا أسلاك الأرضي المتصلة باللوحة الرئيسية. ويفضل أن يتصل هذا الشريط ليس فقط بالكمرات الخارجية لأساس المبنى، بل بكل الكمرات الداخلية والخارجية.

بمعنى أن نستخدم الإلكترودات الموجودة بصورة طبيعية فى إنشاءات المبنى مثل حديد التسليح فى الأساسات الخرسانية من أجل زيادة كفاءة شبكة الأرضي، وذلك أثناء عمل الهيكل الخرسانى لأساسات المبنى، حيث يتم عمل توصيل جيد بين أحد قضبان التسليح وبين موصل الأرضي العمومى للمبنى، فتصبح وكأننا وضعنا مجموعة إلكترودات أخرى على التوازى مع الإلكترود الأصلى (شكل 6-16) .



شكل 6-16

<u>هل يمكن استخدام ماسورة مياه بدلا من إلكترود الأرضي ؟.</u>

هذا الأسلوب يمكن أن يكون مقبولا بشروط منها أن تكون الماسورة من مادة جيدة التوصيل للكهرباء، وأن تكون الماسورة جيدة الاتصال بين أجزائها فلا يوجد عداد قياس مثلا من مادة غير جيدة التوصيل للكهرباء يقطع اتصال الماسورة. مع ملاحظة أن هذا الأسلوب لا يعتمد على وجود مياه داخل ماسورة المياه بل يعتمد فقط على جودة توصيل الماسورة نفسها للكهرباء. فإذا تحققت هذه الشروط فإن هذا الأسلوب يصبح مشابه تماما لاستخدام الإلكترود العادى.

أما إذا اختل أحد هذه الشروط فستعتبر الجهاز المتصل بهذه الماسورة غير مؤرض، وبالتالى فإذا حدث Short داخل الجهاز فإن التيار المتسرب من الدائرة الكهربية سيفضل هذه المرة أن يمر من خلال جسم الإنسان لأنه أقل مقاومة من الماسورة، أو على الأقل سيتوزع التيار بين المسارين بنسبة ما قد تكون كافية

أن يتعرض هذا الشخص لصدمة كهربية وقد تسبب له مجرد رعشة، وهذا ما يحدث بالفعل لبعض الناس حين يشعرون برعشة كهربية عند ملامستهم لصنبور المياه.

6-5-3 موصلات التأريض Earthing Leads

في أغلب الأحيان تكون موصـــلات التأريض عبارة عن شـريط نحاســي Cu Tape ذو مقطع في حدود $2.5 \times 25\ mm^2$، وذلك لربط الجهاز المراد تأريضــه بإلكترود الأرضــي. أما في حالة ربط الإلكترودات المدفونة رأسيا ببعضــها البعض فغالبا نسـتخدم كابلات نحاسـية مدفونة في الأرض. و يفضـل أن تكون كابلات موصـــلات التأريض من النحاس نظرا لمقاومته الكبيرة للتحات Erosion، أو التآكل الكيميائي Chemical Corrosion (الفرق بينهما هو أن التحات الــ Erosion ظاهرة فيزيقية طبيعية نتيجة عوامل التعرية، أما الــــ Corrosion فهو عملية كيميائية تتحول فيها المادة لمادة أخرى ونسميها غالبا الصدأ). لاحظ أنه إذا كان الكابل غير معزول فإنه قد يتســبب في تآكل معادن أخرى مدفونة في الأرض بجواره إذا كانت هذه المعادن تسبقه فى الترتيب داخل الجدول الدورى (أنودية المعدن المجاور أعلى من النحاس) ، و لكن إذا كان الكابل قصــيرا أو مدفونا بقرب سـطح الأرض و في تربة جافة و لها مقاومة عالية فإنه يمكن إهمال التآكل.

أما إذا كان الكابل طويلا و بالأخص إذا كان مدفونا في أرض رطبة و لها مقاومة صـغيرة فيستحسـن في هذه الحالات اســتخدام كابل من النحاس عليه طبقة صــامدة للماء. و لا يجوز في أي حال من الأحوال اســتخدام موصــــلات من الألومنيوم أو أي معدن آخر له أنودية مرتفعة، لأن المعدن ذو الأنودية العالية سيتآكل كما سيتم شرحه تفصيلا فى الـ Section التالى.

6-5-4 تأثير التآكل الكيميائي (Corrosion) على موصلات التأريض

فمن المعروف إنه إذا تواجد معدنان مختلفان و منفصــلان في وسـط رطب، أو تواجدت وصــلة من هذين المعدنين في مكان رطب فإنه مع مرور الوقت يحدث تآكل لأحدهما، و الســـبب في ذلك هو الفعل الإليكتروني الذي يؤدي إلى تآكل Corrosion المعدن الأكثر أنودية.

و يبين الجدول 6-4 الترتيب الجلفاني Galvanic Series لعدد من المعادن، و يعتبر المعدن أكثر أنودية من معدن آخر إذا كان يســبقه فى الترتيب، فمثلا الصــلب المجلفن Galvanized Steal أكثر أنودية من النحاس (فرق الجهد بينهما هو (0.8 فولت) ولكن النحاس أكثر أنودية من الذهب (فرق الجهد بينهما هو (0.4 فولت).

جدول 6-4 : أنودية بعض المعادن

المعدن	الجهد الجلفانى (فولت)
صلب/حديد مجلفن	-1.05
ألومنيوم	-0.75
الصلب الذى لا يصدأ	-0.6
الرصاص	-0.55
النحاس	-0.25
الفضة	0.0
الكربون	+0.1
الذهب/البلاتين	+0.15

على سبيل المثال، إذا تواجدت ماسورة من الصلب المجلفن مدفونة بجوار إلكترود تأريض من النحاس فإن ذلك يؤدى إلى تآكل الماسورة الصلب ولا يصاب النحاس بأى ضرر، و لكن قد يتكون حوله طبقة من الأملاح نتيجة للفعل الإلكتروليتى. ويعتمد معدل التآكل الكيميائى Chemical Corrosion على الفرق فى الجهد الجلفانى بين المعدنين، **<u>كما أن معدل تآكل المعدن الأكثر أنودية يتناسب طرديا مع مساحة الكاثود وعكسيا مع مساحة الأنود.</u>**

لاحظ أن الذهب هو سيد المعادن لأن أنوديته منخفضة جداً، وبالتالى لا يمكن أن يتآكل إذا وضع بالقرب من أى معدن. لاحظ كذلك أن النحاس متأخر نسبيا فى الترتيب لذا فمقاومته للتآكل عالية، ولهذا نجد أوانى قدماء المصريين النحاسية باقية فى قبورهم رغم مرور آلاف السنين، وبالطبع فالقطع الذهبية باقية لنفس السبب.

أما إذا كان هناك ضرورة لوجود وصلة تأريض مكونة من معدنين مختلفين فيجب مراعاة النقاط التالية :

- يجب أيضا أن تكون الوصلة فوق سطح الأرض.
- وأن تكون محمية من الرطوبة.
- وأن يكون من السهل الوصول إليها لغرض التفتيش، كما يجب أن يتم التفتيش على الوصلة مرة كل عام.

يجب ألا يكون المعدن الأكثر أنودية هو جسم المعدات أو المنشآت لأن مساحة الجسم كبيرة ومن ثم سيكون احتمال التآكل أعلى (تذكر أن معدل تآكل المعدن الأكثر أنودية يتناسب طرديا مع مساحة الكاثود وعكسيا مع مساحة الأنود) ، فمثلا إذا أردنا توصيل برج من الصلب المجلفن Galvanized Steal أو محول كهربى إلى إلكترود التأريض النحاسي فيجب أن يتم ذلك بواسطة شريط صلب مجلفن وليس شريط من النحاس، بحيث يسهل تغيير شريط الصلب فى حالة حدوث تآكل Corrosion فيه. لاحظ أننا إذا استخدمنا وصلة من النحاس فإن جسم البرج هو الذي سيتآكل لأنه أكثر أنودية من النحاس.

6-5-6 اختيار مقطع موصل التأريض

يجب عند اختيار مقطع موصل التأريض أن نتأكد من تحمله لقيمة تيار القصر الذى سيمر من خلاله إلى الأرض، كما فى المثال التالى.

مثال 6-1 :

أحسب مقطع موصل التأريض المناسب لتأريض محول قوى قدرته 1.5 MVA، علما بأن معاوقة المحول X_{pu} تساوى 0.05.

الحل:

الخطوة الأولى فى هذه النوعية من المسائل هى تحديد قيمة تيار القصر المتوقع مروره، ومن ثم نستخدم المعادلات التقريبية لحساب المقطع المناسب.

ويمكن حساب قيمة تيار القصر بطريقة مبسطة كما فى المعادلة التالية :

$$MVA_{SC} = \frac{MVA_{Base}}{X_{pu}} = \frac{1.5}{0.05} = 30MVA$$

$$I_{SC} = \frac{MVA_{SC}}{\sqrt{3}V_L} = \frac{1.5}{\sqrt{3} \times 0.38} = 45kA$$

ومن المعادلة التقريبية 4-11 فى الفصل الرابع يمكن حساب المقطع المناسب كما يلى :

$$a(mm^2) = 9\sqrt{t}\, I_{SC} \quad = 9 \times \sqrt{0.5} \times 45 = 286\ mm^2$$

وأقرب مقطع مناسب هو 300 ملم.

6-5-7 اتصال الإلكترود بموصل التأريض

وهناك ثلاث طرق لإتمام التوصيل بين إلكترودات التأريض و موصلات التأريض، أو بين هذه الموصلات و التجهيزات الخاصة بتوصيلة الأرض:

1- توصيل ميكانيكي :

باستخدام صواميل مربوطة بمسامير، و يجب في هذه الحالة أن تكون الصواميل و المسامير من نفس معدن الإلكترودات و الموصلات، و يجب أن تكون الوصلات محمية ضد حدوث أي عطب عرضي، و مصممة بحيث تكون قابلة للتفتيش. راجع الشكل السابق رقم 6-10.

1- توصيل عن طريق اللحام

ويعرف بلحام الثرميت، وهو من أفضل الطرق لأن مقاومة نقطة الاتصال تكون أقل ما يمكن.

2- توصيل عن طريق الكبس

و ذلك باستخدام جلبة خاصة من النحاس أو النحاس السبائكي، يتم كبسها على قضيب التأريض و موصل التأريض في نفس الوقت بواســـطة مكبس هيدروليكي خاص، و هذه الطريقة هي أحدث الطرق و أكثرها اقتصادا و لها كل مميزات لحام الثرميت.

6-6 حساب قيمة المقاومة الأرضية

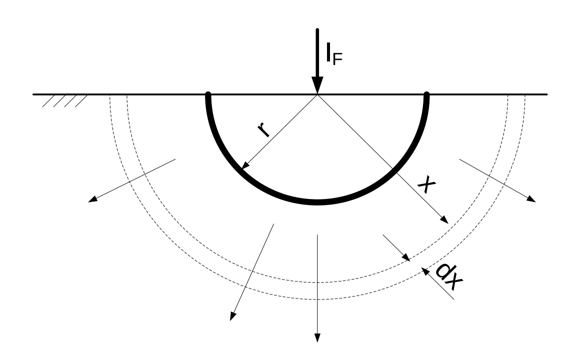
تعرف المقاومة الأرضــية بأنها المقاومة المقاســة بالأوم بين الإلكترود الأرضــي والكتلة العامة للأرض. ويعتبر الصــفر هو القيمة المثالية للمقاومة الأرضــية، حيث أن الارتفاع فى الجهد على ســطح الأرض Potential Rise نتيجة مرور تيار العطل إلى الأرض يعتمد كليا على قيمة هذه المقاومة الأرضــية، إلا أنه عمليا يصعب الوصول إلى قيم أصغر كثيرا من أوم واحد، وهذه القيم المنخفضة ليست ضرورية في

كثير من الحالات. وبصفة عامة فإن قيمة المقاومة اللازمة تتناسب عكسيا مع حجم تيار القصر المتوقع، فكلما كان هذا التيار المتوقع كبيرا وجب أن تكون المقاومة المطلوبة صغيرة.

وعموما فمن شروط الأرضي الجيد أن تكون مقاومته أقل ما يمكن و تتراوح عادة بين 1 – 5 أوم، إلا أن الحصول على مثل هذه القيم في تربة ذات مقاومة نوعية عالية لا يمكن الوصول إليه إلا باستخدام عدد كبير من الأقطاب الأرضية، وهذا يعني تكلفة عالية، لذا قد يكون من الضروري حساب أعلى قيمة مقاومة تسمح بمرور تيار العطل وتكون قيمتها فى نفس الوقت كافية لاشتغال جهاز الحماية (Relay) لعزل الدائرة الكهربية التى بها العطل و هناك عدة طرق لإجراء هذه الحسابات :

6-6-1 حساب مقاومة إلكترود نصف كروي

نظريا فإن أبسط أنواع إلكترودات التأريض هى الإلكترود النصف كروى الذى له نصف قطر يساوى (r) كما فى شكل 6-17.



شكل 6-17

فعند مرور تيار القصر I_F خلال هذا الإلكترود فإنه ينساب بصورة منتظمة فى كل الاتجاهات من خلال شرائح نصف كروية متزايدة فى نصف القطر ومتحدة المركز، و يمكن أن نثبت رياضيا إنه حين يصل طول نصف قطر الدوائر المنسابة فى الأرض إلى ما لا نهاية داخل كتلة الأرض فإن المقاومة الكلية R لهذا الإكترود فى هذه الحالة تساوى حسب المعادلة التالية:

$$R_\infty = \frac{\rho}{2\pi r} \quad \text{.......................} 6-4$$

حيث

ρ هى المقاومة النوعية للتربة.

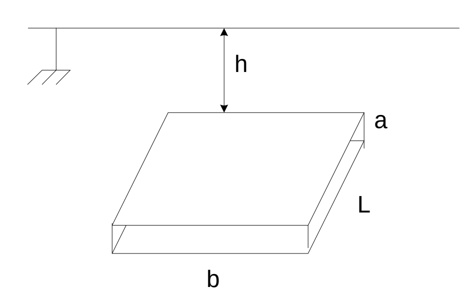
r هو نصف قطر الإلكترود.

أما إذا كان إلكترود التأريض على شكل ماسورة اسطوانية قطرها d وطولها L فإن مقاومة الأرضي حينئذ تحسب من المعادلة التالية:

$$R = \frac{\rho}{2\,\pi\,L} \quad \ln\frac{8L}{d} ....6-5$$

وأحيانا تستخدم شريحة أفقية لها سمك a وطوله L وعرضها b، ومدفونة أفقيا على عمق h كما في شكل 6-18، وفى هذه الحالة تكون مقاومة الأرضي تساوى:

$$R = \frac{\rho}{4\,\pi\,L}\left[\ln\frac{8L^2}{ah} + \frac{a^2 - \pi\,a\,b}{2(a+b)^2} - 1 + \frac{h}{L} + \frac{h^2}{4L^2}\right] ....6-6$$



شكل 6-18

ويمكن إهمال سمك الشريحة وحساب مقاومة الأرضي R لقطب عبارة عن لوح معدني مساحته A من المعادلة التقريبية التالية (المواصفات القياسية IEEE-80-1986)

$$R = \frac{\rho}{2A}\sqrt{\left(\frac{\pi}{2A}\right)} ....6-7$$

6-6-2 الحسابات التقريبية

من الممكن أن نبسط الصور السابقة لتصبح "تقريبا" تساوى :

1- فى حالة الإلكترود الواحد المدفون رأسيا :

$$R = \frac{\rho}{L} ....6-8$$

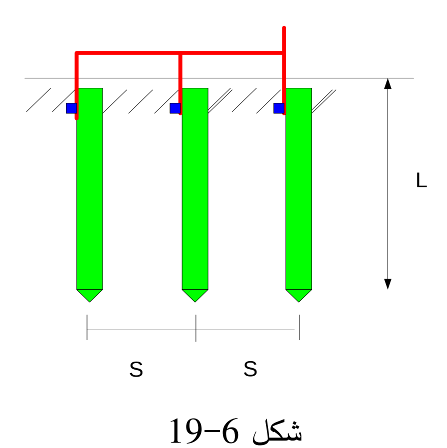
2- فى حالة الإلكترود الواحد المدفون أفقيا:

$$R_H = \frac{2\rho}{L} .... 6-9$$

3- فى حالة التأريض بواسطة عدد N من الإلكترودات الرأسية الموصلة على التوازى حيث مقاومة كل واحد منها – منفردا – تساوى R_V، فإن المقاومة الكلية النظرية من المفترض أن تساوى R/N. لكن عمليا هذا لا يتحقق بسبب التأثير المتبادل Mutual Effect للإلكترودات على بعضها البعض، وبالتالى فإن المقاومة الفعلية تحسب بقسمة المحصلة النظرية على معامل يسمى Screening Coefficient (قيمته أقل من 1) للحصول على القيمة الصحيحة، والتى ستكون بالطبع أكبر من القيمة النظرية. والمعادلة المبسطة للمقاومة الكلية R_{V-T} لمجموعة من الإلكترودات المدفونة رأسيا vertical وعددها N هى:

$$R_{V-T} = \frac{R_V}{\eta N} .... 6-10$$

وتتوقف قيمة η على عاملين : الأول هو النسبة بين البعد الأفقى بين كل إلكترودين (S) إلى طول الإلكترود (L) أى أنها تتوقف على قيمة S/L كما فى شكل 6-19، مع ملاحظة أنه يجب ألا تقل المسافة S عن 3 أمتار .



شكل 6-19

والعامل الثاني المؤثر على قيمة معامل التصحيح هو عدد الإلكترودات N وذلك كما فى الجدول 6- 5.

جدول 6- 5 : قيم معامل التصحيح η للإلكترودات المدفونة رأسيا

η	N	S/L	η	N	S/N	η	N	S/L
0.95 – 0.97	2	3	0.93 – 0.95	2	2	0.8 – 0.87	2	1
0.91 – 0.95	3		0.9 – 0.92	3		0.76 – 0.8	3	
0.89 – 0.92	5		0.85 – 0.88	5		0.67 – 0.72	5	
0.82 – 0.88	10		0.79 – 0.83	10		0.56 – 0.62	10	
0.79 – 0.81	20		0.74 – 0.79	20		0.5 – 0.47	20	

وبالطبع يمكن الرجوع للمواصفات المتخصصة إذا كان العدد أكبر من ذلك.

4- فى حالة التأريض بواسطة شريط أفقى مدفون بأساس المبنى حيث L هى محيط المبنى الكلى وتصبح المقاومة الأرضية الأفقية horizontal الكلية R_{H-T} :

$$R_{H-T} = \frac{2\rho}{L\eta_H} .... 6-11$$

حيث η_H هى معامل تصحيح المقاومة الأفقية الكلية.

5- أخيرا، يمكن استخدام المعادلة 12-6 لحساب المقاومة الأرضية المكافئة لمنظومة تأريض صنعت بواسطة استخدام عدد N من الإلكترودات الرأسية (لها مقاومة مكافئة R_{V-T}) ، وتم ربط هذه المجموعة معا بواسطة إلكترود أفقى (شريط تأريض) له مقاومة مكافئة R_{H-T}، ومن ثم تصبح المقاومة الأرضية المكافئة للمنظومة تساوى :

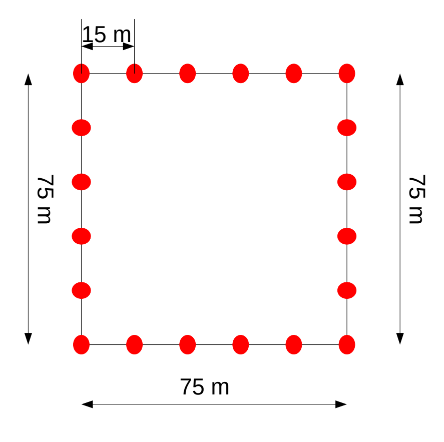
$$R_{eq} = \frac{R_{H-T} \times R_{V-T}}{R_{H-T} + R_{V-T}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots . (6-12)$$

مثال 6-2:

مصنع مربع الشكل، طول ضلعه 75 متر ، مطلوب تصميم شبكة أرضي له مكونة من 20 إلكترود رأسى طول كل منهم 5 متر ، مدفونة فى تربة مقاومتها النوعية تساوى 500 Ω.m، على أن يتم توصيل هذه الإلكترودات معا بشريط أفقى أبعاده 4×40 mm².

الحل

طبقا لأبعاد المصنع والمعلومات المعطاة فإن المسافة بين كل إلكترودين تساوى 15 متر كمـــــــــا فى شكل 6-20



شكل 6-20

مقاومة إلكترود رأسى واحد =

$$R_V = \frac{\rho}{L} = \frac{500}{5} = 100\Omega$$

المقاومة الكلية للإلكترودات الرأسية

$$R_{V-T} = \frac{R}{\eta N} = \frac{100}{0.8 \times 20} = 6.25\Omega$$

لاحظ أن النسبة S/L تساوى 15/5=3 ومن ثم فمعامل التصحيح الرأسي من الجدول 6- 5 يساوى تقريبا 0.8.

المقاومة المكافئة للشريط الأفقى =

$$R_{H-T} = \frac{2\rho}{L\eta_H} = \frac{2 \times 500}{300 \times 0.7} = 4.7\Omega$$

على اعتبار أن معامل التصحيح الأفقى يساوى 0.7 (يرجع للقيم الدقيقة فى الكود المستخدم).

وعلى هذا فالمقاومة المكافئة للمنظومة الكاملة =

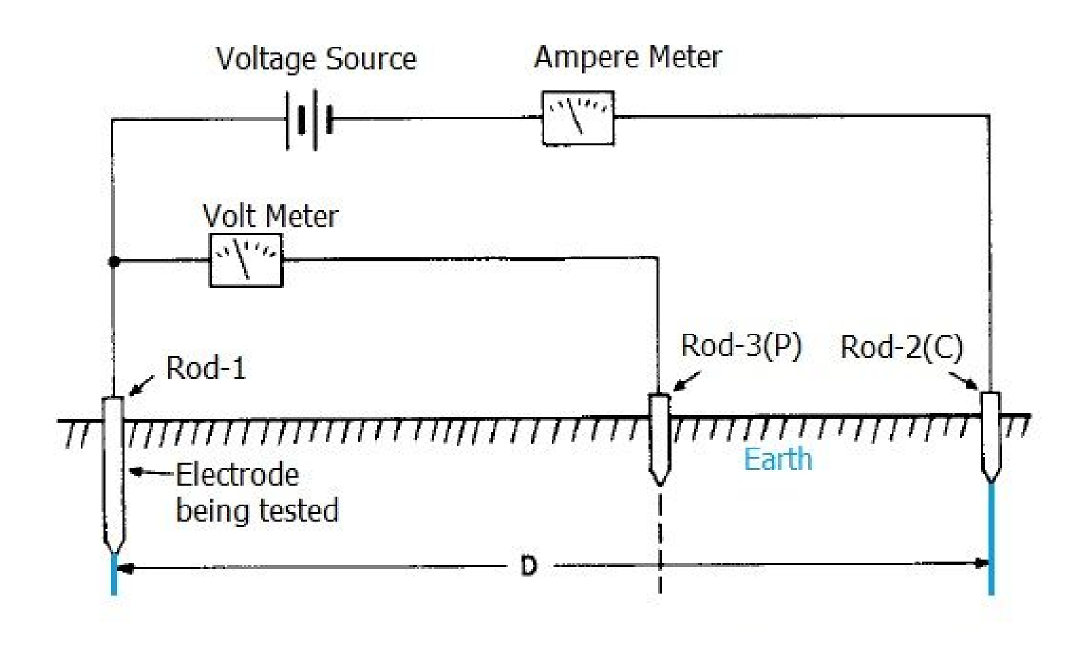
$$R_{eq} = \frac{R_{H-T} \times R_{V-T}}{R_{H-T} + R_{V-T}} = \frac{4.7 \times 6.25}{4.7 + 6.25} = 2.6\Omega$$

ملحوظة :

- نوع معدن الإلكترود لا يؤثر على مقاومة الأرضـــي، وبالتالى فإن اختيار المعدن يعتمد كليا على مدى مقاومته للتآكل من قبل التربة التي ســيوضـــع فيها، و لقد أثبتت التجربة العملية الطويلة و التجارب المعملية أن النحاس هو أفضل المعادن التي يمكن استخدامها في التأريض.

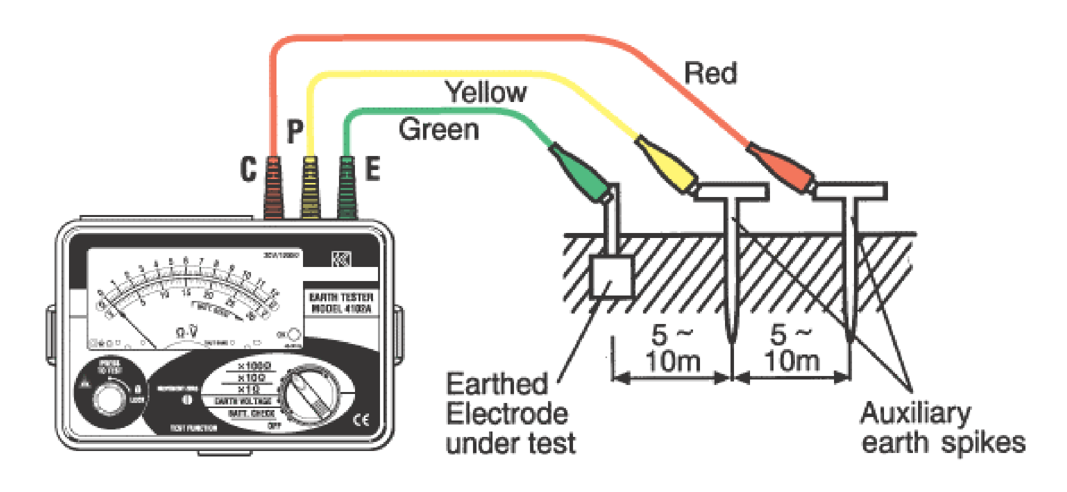
3-6-6 قياس مقاومة الأرضي

تعتبر طريقة هبوط الجهد (fall of potential method) الطريقة الأكثر استخداما لقياس مقاومة الأرض، وفي هذه الطريقة (انظر شكل 6-21) يمثل Rod−1 إلكترود الـ Earthing المراد قياس مقاومته و Rod−3(P) و Rod−2(C) هما إلكترودان مساعدان، وإذا مر تيار بين Rod−1 و Rod−2(C)، وكان فرق الجهد بين Rod−1 و Rod−3 هو V، فإن خارج القسمة V/I هي مقاومة الأرضي. ويسمى جهاز قياس مقاومة الأرض بـ Earth tester.



شكل 6-21

ويمكن إعادة الاختبار بتحريك الإلكترودين المساعدين إلى يمين موضعه الأصلى، أو إلى يساره، بمسافة لا تقل عن 5 أمتار للحصول على قراءات جديدة ثم نأخذ متوسط القراءات كما في شكل 6-22. لاحظ أن عيب هذه الطريقة هو الحاجة لمساحة واسعة لوضع الإلكترودين المساعدين.



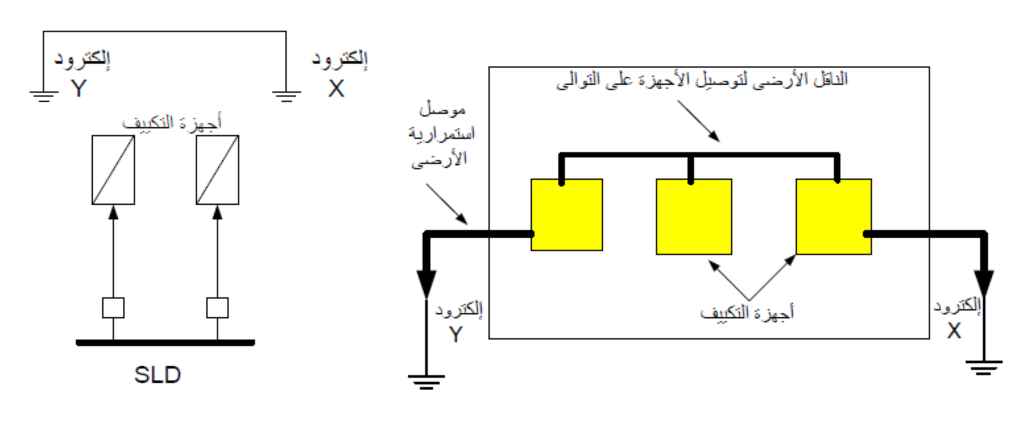
شكل 6-22

ملاحظة هامة: يجب فصل الإلكترود الأصلي عن أي دائرة قبل إجراء القياسات.

6-7 التأريض فى المباني السكنية

فى التركيبات الكهربية الخاصة بالمباني السكنية يكون من المعتاد أن يخصص إلكترود أرضي منفصل (أو شبكة تأريض إذا لم يكن الإلكترود الواحد كافيا) لمحول التوزيع، أو يخصص هذا الإلكترود لصندوق التغذية الرئيسي إذا لم يكن هناك محول خاص بالمبنى. وبالإضافة إلى ذلك فهناك إلكترود ثانى منفصل للوحة الجهد المنخفض الرئيسية (LT) ، وهذا الإلكترود الثاني هو الذى يوصل بالـــ Main MET) Earthing Terminal وهو الـBB العمومى للتأريض)، ثم يتم توصيل الـ (MET) بكل الـ Earthing BBs الموجودة باللوحات الفرعية بالمبنى، على أن يتم توصيل الـ Earth Pin الموجود بالـ Sockets بالـ Earth BB الموجود باللوحة فرعية المغذية للـ Socket. كما يوجد إلكترود ثالث (أو شبكة تأريض منفصلة تخصص لمانعة الصواعق إن وجدت.

أما الأجهزة ذات الطابع الخاص مثل مكينات التكييف المركزى الموجودة فوق أسطح المبنى فيتم توصيلها معا على التوالى بموصلات نحاسية، ثم يتم توصيلها بالأرض من خلال إلكترودين آخرين منفصلين كما فى شكل 6-23. ويعبر بالرسم عن هذا النظام فى الـ SLD كما بالمخطط فى يسار الشكل السابق.



شكل 6-23

ويمكن فى المبنى الواحد أن نجد ثلاثة أنواع من الأرضي :

1- الأولى لـ Power Earthing وتكون مقاومة الأرض لها فى حدود 5 أوم،

2- والثاني لـ Safety Earthing وتكون مقاومة الأرضي لها فى حدود 10 أوم،

3- أما الثالثة فهى للصواعق البرقية وتكون مقاومة الأرضي فى حدود أقل من 20 أوم.

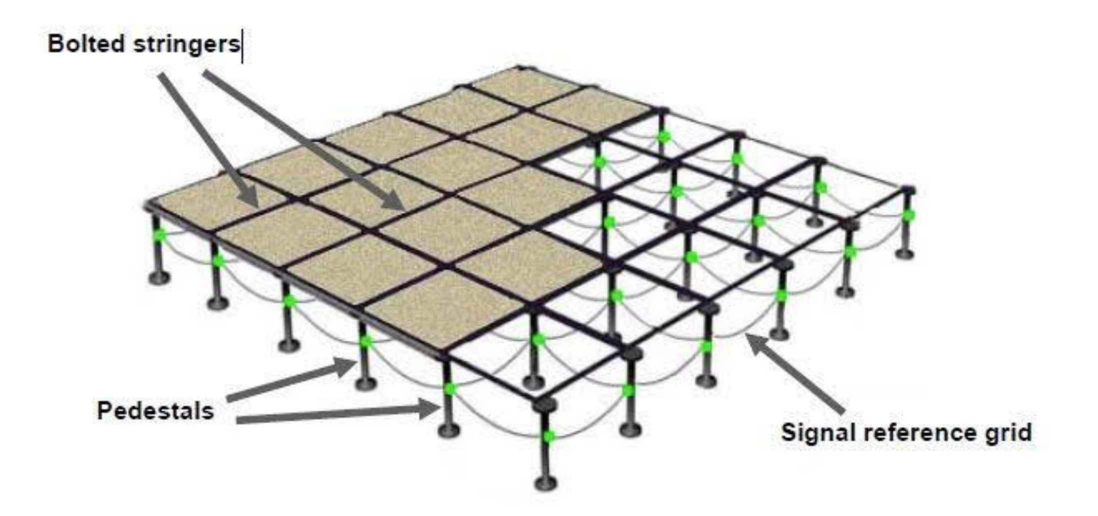
وربما نحتاج فى بعض المباني لأرضــي من نوع خاص لاســيما عند وجود أجهزة حســاســة وذلك لتجنب التشـويش على أجهزة الحواسـب ونظم التحكم حيث تصـل مقاومة الأرضـي لها إلى نصـف أوم وربما أقل حسـب المواصـفات المطلوبة. ويجب فصـل الأرضـي الخاص بهذه الأجهزة عن الأرضـي الخاص ببقية المبنى.

6-7-2 تأريض أجهزة الاتصالات:

من النقاط الهامة التى يجب أن تراعى عند تأريض أجهزة الاتصالات أن يتم الفصل التام بين نقاط تأريض أجهزة القوى ونقاط تأريض أجهزة الاتصـــالات، لأن تعدد نقاط التأريض Multiple Grounding بين نظم القوى ونظم الاتصالات قد يسبب بعض مشاكل خاصة لأجهزة الاتصالات، وفى الغالب يكون ذلك بسبب

الـــــ Noise الناشئة عن تصميم غير مناسب لنظام التأريض. فتقارب نقاط تأريض أجهزة القوى وأجهزة الاتصـــالات قد تســمح بمرور تيارات أخرى متســربة من أجهزة القوى المجاورة خلال الأرض ثم من خلال الغلاف المعدنى Cable Screen لكابل الاتصـــالات مما ينشـــأ عنه مشـــاكل فى تشـــغيل هذه الأجهزة الإلكترونية.

ويتم عمل شـبكة منفصـلة للداتا سـنتر و تعرف باسـم Signal Reference Grid (SRG)، وهي عبارة عن شـبكة من الأسـلاك النحاسية يتم تركيبها مع وجود أرضـيات مرتفعة لهذه الغرف و كذلك يمكن تنفيذها باستخدام أشرطة أو أسلاك من الألومنيوم كما في الشكل التالي.



6-8 الحماية من الصواعق البرقية

أشـرنا سـابقا أن مانعة الصـواعق يجب أن يكون لها إلكترود أرضـي منفصـل، وفى هذا الجزء سـنتعرض بشـيء من التفصـيل لموضـوع الصـواعق البرقية وكيفية الحماية منها، حيث أنه من المهم لمن يتعامل مع أنظمة الأرضـي أن يلم بمبادئ أساسية عن هذه الظاهرة وكيفية التعامل معها.

البرق يمثل تعبيرا مرئيا عن كمية هائلة من الطاقة الكهربية المحمولة على السحب. وأغلب النظريات تفسر تراكم هذه الشـــحنات ونشـــؤها بحدوث احتكاك بين تيارات الهواء وبين ذرات الغبار والماء الموجودة فى السـحابة، مما يترتب عليه ظهور كميات هائلة من الشـحنات الاسـتاتيكية السـالبة على الجزء السـفلى من

السحابة، بينما تتراكم شحنات موجبة فى أعلى السحابة. وفى المقابل تظهر شحنات موجبة أيضا على المباني العالية المقابلة للسحابة، وهذا يعنى أن الهواء بين السحابة والمبنى قد أصبح يمثل مكثف هوائي مشحون، فإذا زاد فرق الجهد بين طرفى هذا "المكثف" الافتراضى عن جهد الانهيار للهواء (حوالى 30 kV/cm) فسيحدث تفريغ للشحنة على صورة شرارة بين السحابة والمبنى.

و هذه الشرارة عبارة عن طاقة كهربية هائلة ذات جهد يصل إلى millions of Volts، والتيار الذى يمر خلال البرق قد يصل إلى 200 kA بمتوسط قدره 40 kA. و في حال حصول عاصفة برقية بهذه القيم فإن الأحذية المطاطية أو البلاستيكية لا تفيد في شيء، لكن لو كنت داخل السيارة فيجب أن تبقى داخلها ولا تغادرها، حيث يعمل السطح المعدني الخارجي للسيارة على حمايتك من الخطر المحدق الخارجي، إذ يعمل جسم السيارة المعدني على نقل هذه الكهرباء وتفريغها في الأرض.

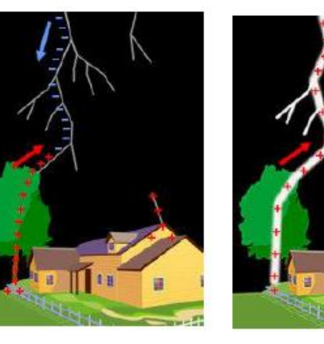
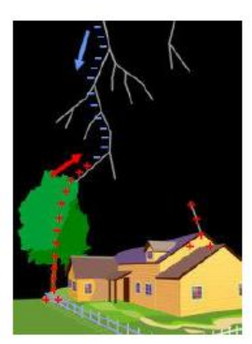
ورغم ارتفاع قيمة هذا التيار إلا أنه يستمر لمدة وجيزة جدا تقدر بأجزاء من الثانية (حوالى 25 مللى ثانية)، وتتسبب الشرارة الناشئة عن البرق فى رفع درجة حرارة الهواء إلى أكثر من 30000 درجة مئوية لدرجة أن الهواء الساخن هذا يضيء فيحول الليل إلى نهار، ويتمدد الهواء Expansion نتيجة هذه الحرارة العالية بسرعة فيحدث صوت الرعد المعروف، وبالطبع قد يحدث البرق أفقيا بين سحابة وأخرى – وهو الغالب – أو حتى بين طبقات السحابة الواحدة.

ورغم قصر مدة التفريغ إلا أنها تكون كافية لانهيار العزل لأى من الموصلات على الأرض إذا وصلت الصاعقة إليه. وللحماية من هذه الصواعق تركب موانع للصواعق Air Termination مدببة على أعلى نقاط بالمبنى تعرف بعصا فرانكلين نسبة للعالم الأمريكي بنجامين فرانكلين (1706 – 1790) ، فإذا اقتربت سحابة من المبنى وأدت إلى انهيار عزل الهواء بين السحابة والمبنى وحدث التفريغ فإن هذه الإلكترودات تجذب هذه الشحنات الهائلة وتسربها للأرض من خلال نظام الأرضي الذي يصمم بحيث يكون قادرا على تسريب هذه الشحنات إلى شبكة الأرضي بسرعة.

ملحوظة:

وفي الواقع، فإن البرق – كتفريغ شحنات كهربية – ينتقل على شكل قناة غير مرئية من الغيوم العالية إلى الأرض – وعندما يقترب من أي جسم على الأرض فإن فيضا من الطاقة الكهربية يعود في تلك القناة ويصبح البرق مرئيا! كما فى شكل 6-24.

وقد ثبت علميا أن البرق يمر بمرحلتين فى تكوينه : المرحلة الأولى تسمى طور المرور Leading Stroke، وفيه تمر الشحنات السالبة من السحابة إلى الأرض على شكل سلم متدرج Stepped Leader، أما الطور الثاني فيحدث عندما تقترب السحابة بشدة من الأرض، وتصبح المسافة بينها وبين أقرب نقطة فى حدود 100 متر فعندها تبدأ الشحنات الموجبة فى الاتجاه من الأرض نحو السحابة، وتسمى هذه الظاهرة بالصاعقة المرتدة Return Stroke . والعملية كلها تستغرق أقل من طرفة عين (حوالى 25 مللى ثانية).



شكل 6-24

وقد أشار **الرسول صلى الله عليه وسلم** فى حديث له إلى هذا المعنى، حيث شبه صلى الله عليه وسلم مرور المؤمنين على الصراط يوم القيامة بمرور البرق، فسأله الصحابة عن معنى مرور البرق، فقال " ألم تر أنه يمر ويرجع فى طرفة عين". فكان صلى الله عليه وسلم أول من أشار إلى أن البرق لا يحدث فى اتجاه واحد كما يبدو للعين المجردة، بل يمر نازلا ثم يرجع صاعدا، وذلك كله فى طرفة عين، ويمكن الرجوع لموقع وكالة الفضاء الأمريكية ناسا لمزيد من المعلومات والصور عن "**مرور**" البرق و " **ورجوعه**" فى "**طرفة عين**".

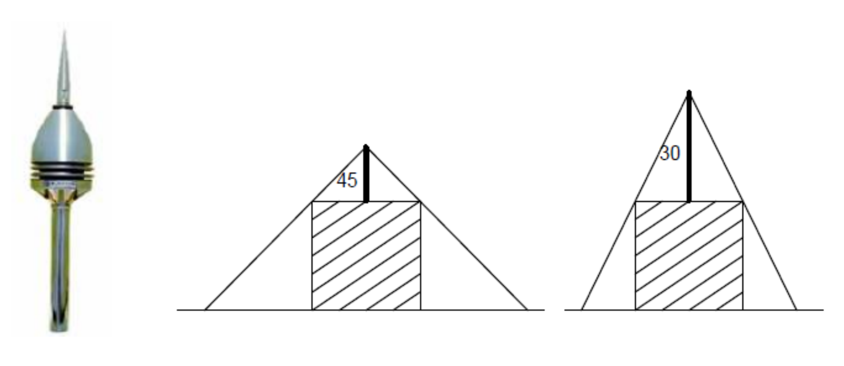
6- 8 -1 متى نحتاج لمنظومة منع الصواعق؟

المنظومة تتكون أساسا من مستقبل واحد أو أكثر للصواعق Air Termination، وموصل أرضي واحد أو أكثر يصل بينها وبين إلكترودات التأريض. وبالطبع فليس كل مبنى بحاجة لهذه المنظومة، فهناك مباني لا نتردد فى تنفيذ هذه المنظومة فيها مثل المباني المرتفعة جدا، والمباني الأثرية الهامة، والمخازن التى تحتوى على مواد قابلة للاشتعال. لكن فى نفس الوقت هناك مباني تحتاج إلى دراسة جدوى للنظر فى ضرورة هذه المنظومة بالنسبة لها. وتعتمد هذه الدراسة على تقييم عدة عناصر من أهمها معدلات الأيام

الرعدية فى السنة، وأهمية المبنى، ونوع العزل فيه إلخ. وهناك جداول تفصيلية فى معظم المواصفات لهذه المعاملات يحسن أن يرجع إليها المتخصصون.

6- 8- 2 أنواع مستقبلات الصواعق

هناك أكثر من أسلوب فى تصميم مستقبلات الصواعق، بالطبع أشهرها ذلك العمود الرأسى الذى ينتهى بسن مدبب كما فى شكل 6-25. وعند استخدام هذا النوع يراعى ألا تزيد زاوية المخروط الذى تكونه مانعة الصواعق فوق المبنى عن 45 درجة مع أى حرف للمبنى كما فى الشكل، فإذا قلت الزاوية إلى 30 درجة مثلا كان ذلك أكثر أمانا. كما يجب أن يكون ارتفاع المانعة مساويا لقطر مخروط الحماية، بمعنى آخر، يجب أن يكون قطر سطح المبنى مساويا لارتفاع المانعة كما فى المثال التالى.



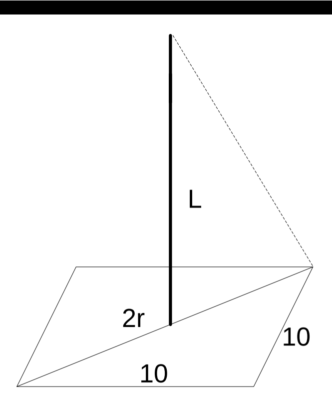
شكل 6-25

مثال 6-3

بناية عالية مساحة سطحها 10x10 متر مربع، والمطلوب حمايتها ضد الصواعق البرقية باستخدام موانع الصواعق الرأسية.

الحل :

إذا تم استخدام مانعة صواعق واحدة فيجب أن يكون ارتفاع المانعة (L) مساويا لقطر مخروط الحماية (2r)، أى L = 2r كما فى شكل 6-26.



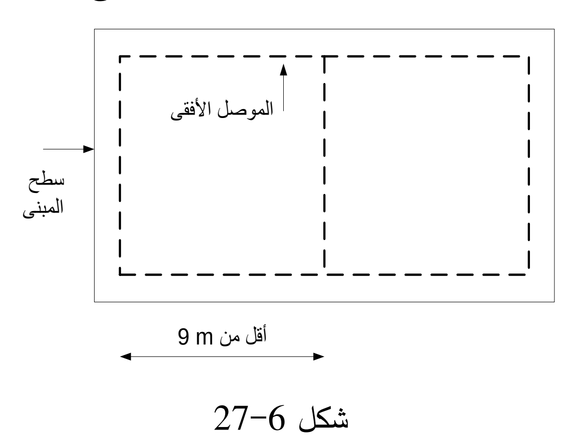
شكل 6−26

وبفرض أن زاوية رأس المخروط مع حرف المبنى تساوى 45 درجة فيمكن حساب L كما يلى:

$$(2r)^2 = 10^2 + 10^2 \Rightarrow 2r = 10\sqrt{2} \Rightarrow L = 14.4m$$

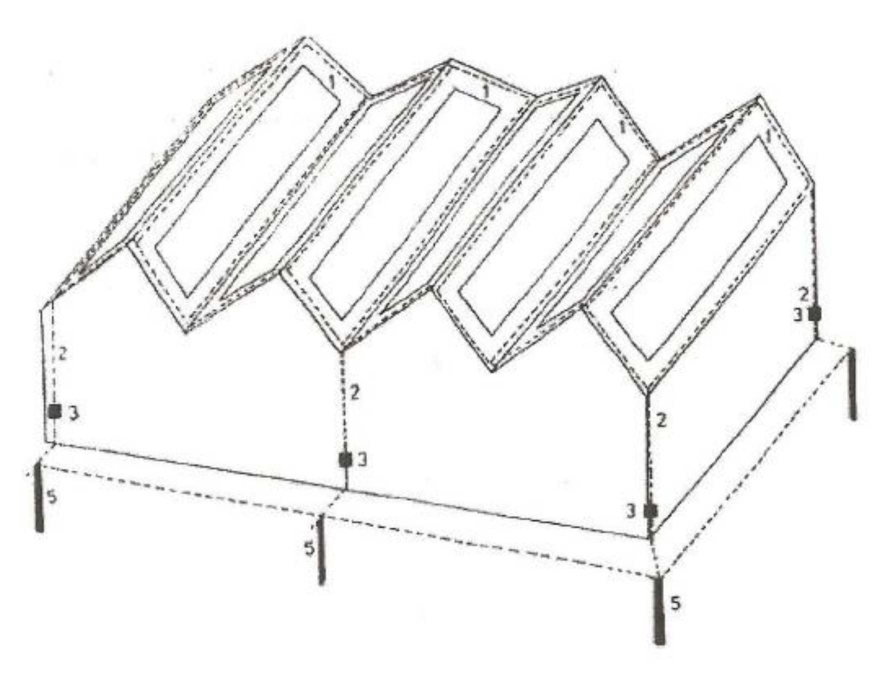
6-8-3 المستقبلات الأفقية

فى النظام السابق يستلزم أن يكون العمود فى الغالب عاليا جدا، وبالتالى فلن يكون من السهل تثبيته، وفى هذه الحالة سيكون أمامنا خياران : إما أن نستخدم أكثر من عمود رأسى للمبنى، أو نستخدم أسلوب آخر وهو إحاطة المبنى بموصلات أفقية غير معزولة على محيط سطح المبنى بحيث لا تزيد المسافة بين أى نقطة على السطح وبين الموصلات الأفقية عن 9 متر كما فى شكل 6−27.



شكل 6−27

وغالبا تكون هذه الموصــلات الأفقية مصــنوعة إما من شــريط من النحاس بمســاحة مقطع 20 X 2.5 mm²، أو شريط من الألومنيوم بمساحة مقطع 4 x 20 mm². فإذا كان السطح متعرجا أو مكونا من عدة طبقات ففى هذه الحالة يجب استخدام مجموعة من الموصلات الأفقية على شكل مستطيلات (رقم 1 فى شكل 6-28). وترتبط هذه الموصلات بإلكترود التأريض (5) بواسطة موصلات التأريض الهابطة (2)، وصناديق الربط (3).

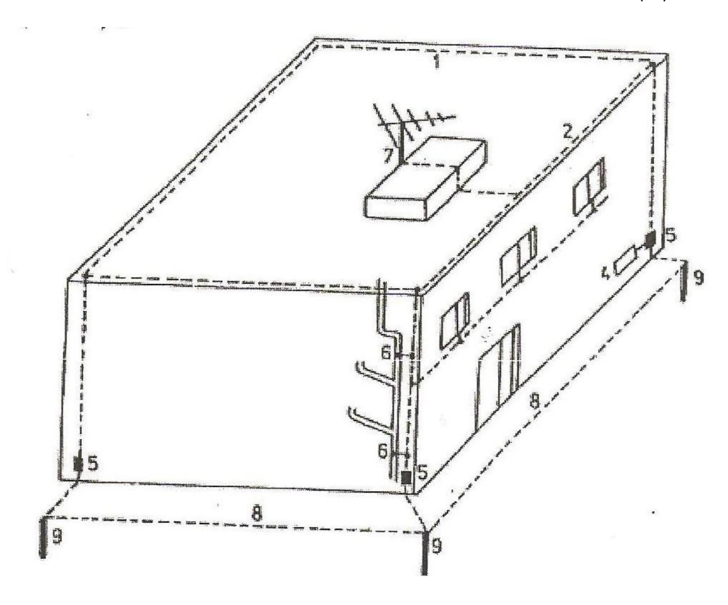


شكل 6-28

وشــكل 6-29 يبين طريقة تنفيذ منظومة الحماية من الصــواعق فى أحد المباني. وهى تتكون من الموصلات الرئيسية الأفقية لمانعة الصواعق (رقم 1) والتى تتصل بالإلكترودات الأرضية (9) من خلال موصلات الأرضي الهابطة من أعلى على جوانب المبنى (5).

لاحظ أن كافة المنشآت المعدنية بالمبنى قد تم توصيلها بالمنظومة بواسطة وصلات، على سبيل المثال إريال التلفزيون (7)، وشــبابيك الألوميتال (3)، ومواســير المياه / الغاز المعدنية (6)، ولوحات التوزيع المعدنية (4).

واضـــح أيضـــا أن المنظومة قد احتاجت إلى عدة إلكترودات أرضـــية، وقد تم توصـــيلهم معا على التوازى بموصلات أرضية أفقية (8) للوصول إلى مقاومة أرضية منخفضة.



شكل 6-29

6-8-4 حساب الجهد على موصلات النزول

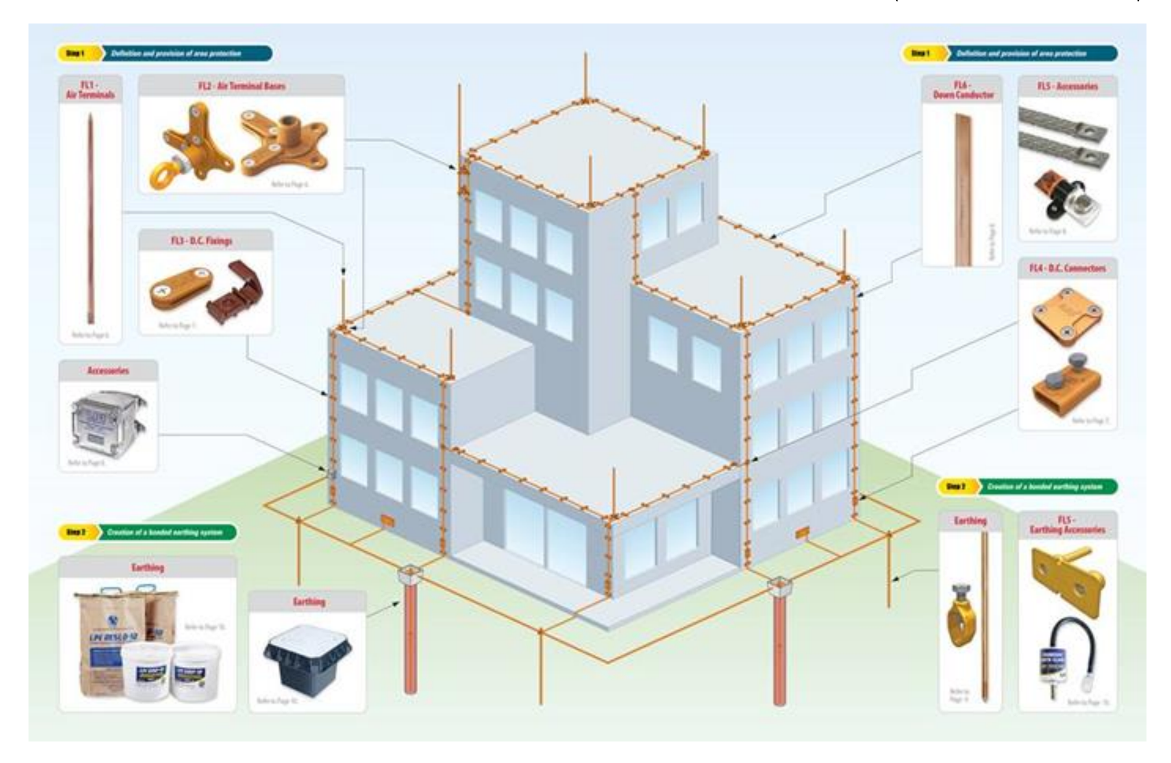
الموصـــلات الهابطة من أعلى المبنى والمتجه إلى إلكترود التأريض ســـتتحمل بالطبع تيارات عالية جدا إذا اصـطدمت الصـاعقة بالمنظومة، ولكن المشكلة ليست فى تحمل هذه الموصـلات لهذا التيار العالي، لأنه كما ذكرنا يمر لمدة وجيزة جدا فلا يخشى على هذه الموصلات منه، أما المشكلة الحقيقية فهى الجهد الذى سيرتفع بشكل كبير على هذه الموصلات، ويتكون من جزئين كما فى المعادلة التالية :

$$V = I_{LT} \times R_E + I_{LT} \times \frac{di}{dt} \qquad 6-13$$

حيث L هى الـ Inductance الخاصة بالموصل.

وكلا الجزئين فى المعادلة الســـابقة لهما قيمة عالية خاصـــة الجزء الثاني حيث يتغير قيمة التيار فى مدة زمنية تصل إلى نانو– ثانية مما يجعل معدل التغير عالي جدا، و يؤدى فى النهاية لظهور جهد مرتفع جدا على هذا الموصـل. وهذا الجهد المرتفع يمكن أن يتسـبب فى حدوث شـرارة بين الموصـل الهابط وبين أى جسم معدنى قريب منه مثل مواسير المياه أو بوابات المنازل الحديدية، وتسمى هذه الظاهرة بالـــــ Side Flash. ولحل هذه المشـــكلة يجب التأكد من أن قيمة الجهد فى المعادلة الســـابقة لن تتجاوز جهد انهيار

عزل الهواء الذى يساوى 30 kV/cm. ويمكن خفض هذا الجهد بزيادة عدد الموصلات الهابطة من أعلى (فتقل بالتالى قيمة الـ L) المكافئة.

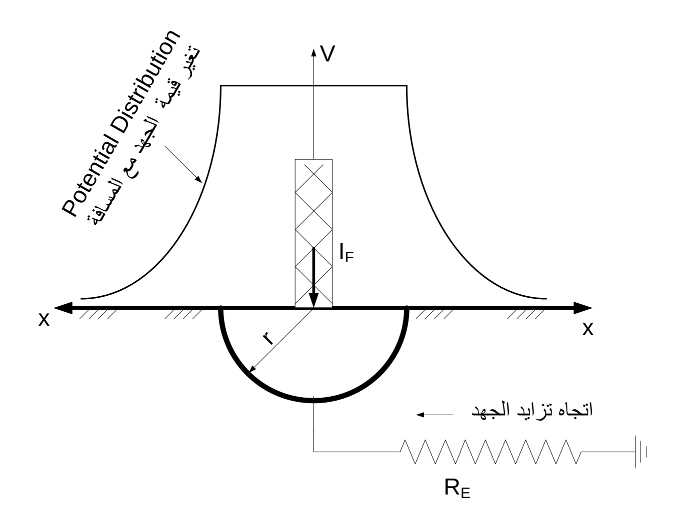


ويجب توصيل كل موصل من موصلات النزول بنهاية تأريض تبعد عن المبنى مسافة لا تقل عن متر واحد. ولا تقل مقاومة إلكترود التأريض الخاص بالصواعق عن 10 أوم حسب الكود الإنجليزى.

6-9 توزيع الجهد

عندما نقول أن إلكترود الأرضـي له مقاومة R_E فإن هذه المقاومة نظريا هى المقاومة الكلية التى تبدأ من الإلكترود حتى مركز الأرض حيث المقاومة الحقيقية هناك تساوى صفر، وهذه المقاومة الكلية تحسب من المعادلات كما فى الجزء السابق، وبالتالى فعند مرور تيار العطل I_F خلال إلكترود فإنه سيتسبب فى ظهور جهد تراكمى متزايد على سطح الأرض Potential Rise حتى يصل للقيمة العظمى عند الإلكترود نفسه.

وشكل 6-30 يعطى شكل توزيع الجهد Potential Distribution فى حالة إلكترود نصف كروى. وبناء على هذه التعريفات يكون من الأهمية بمكان أن نتعرف على مبدأين هامين فى منظومات التأريض وهما جهد الخطوة Step Voltage، وجهد اللمس Touch Voltage.



شكل 6-30

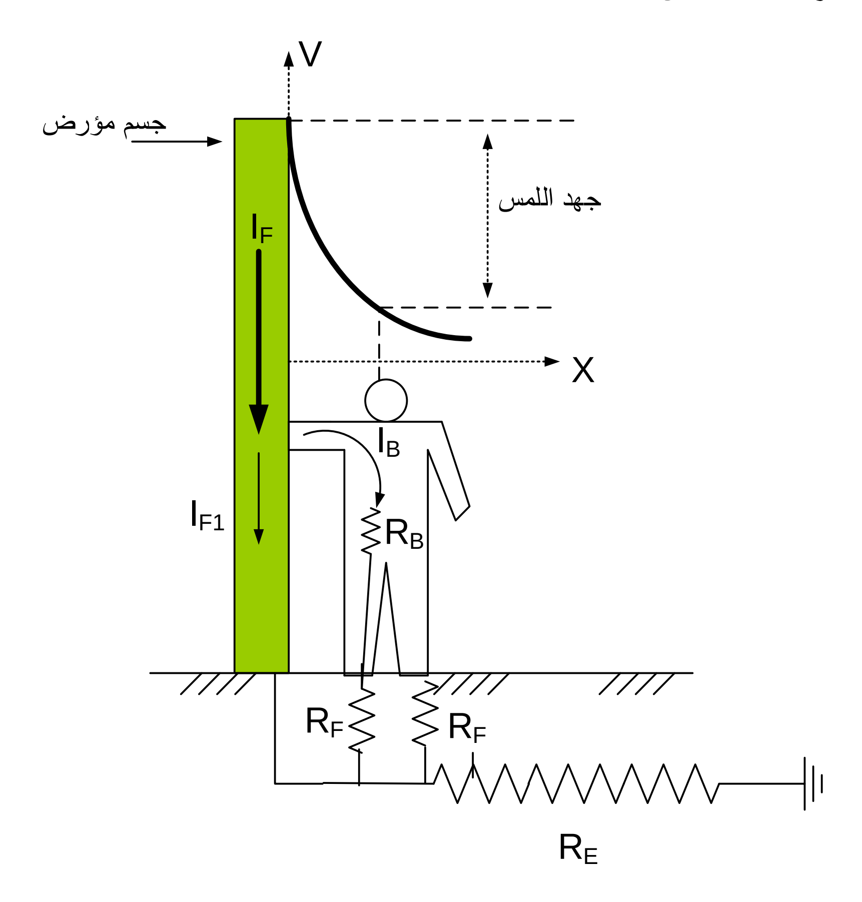
6-9-1 جهد اللمس

تيار العطل كما هو واضح في الشكل 6-31 سيتفرع إلى جزئين: الأول وهو الجزء الأكبر سيتجه نحو الأرض، والثانى هو التيار المار فى الشخص I_B، وتتوقف قيمته على عدة عوامل منها قيمة مقاومة جسم هذا الإنسان R_B، وعلى المقاومة بين قدمه والأرض R_F، ومن ثم كلما كبرت هاتين المقاومتين كلما كان الشخص فى أمان.

فأما مقاومة الجسم فهى فى أقصى قيمة لها ستساوى $10k\Omega$ إذا كان الجسم جافا، ولا توجد جروح فى الجلد، وأما المقاومة بين القدم والأرض فتزيد بالطبع إذا كان الشخص مرتديا حذاء أمان Safety Shoes، وهذا هو السبب فى إلزام العاملين بالمحطات ارتداء هذه الأحذية.

و إذا حدث قصر على جسم مؤرض كما في الشكل 6-31 بحيث تسرب تيار قدره (I_F) خلال جسم المحول إلى الأرض، وكانت مقاومة الأرضي تساوى R_E فإن فرق الجهد الذى سيظهر على جسم المحول V_{TR} يساوى ($V_{TR} = I_F R_E$) .

الآن، إذا تصادف أن لمس أحد الأشخاص هذا المحول فإن فـــــرق الجهد الذى سيظـــــــهر على هذا الشخص يساوى جهد نقطـــــة اللمس ($V_{TR} = I_F R_E$) مطروحا منه جهد النقطة التى يقف عليها بقدمه، ويسمى هذا الفرق بجهد اللمس Touch Voltage .



شكل 6-31

ويمكن التعبير عن الجهد الذى يظهر على جسم هذا الشخص (جهد اللمس) في صورة المعادلة التالية:

$$E_{Touch} = I_B \times (R_B + \frac{R_F}{2})$$

وتمثل R_F قيمة المقاومة بين قدم الشـــــخص Foot Resistance، والأرض. وتتوقف قيمتها على نوعية التربة السطحية . وقيمة R_F يمكن حسابها من المعادلة التالية (حيث ρ هي المقاومة النوعية للتربة):

$$R_F = \frac{\rho}{4b}, b \approx 0.08 \rightarrow R_F = 3\rho$$

وبالتالي يمكن الوصول للصورة التالية لحساب جهد اللمس:

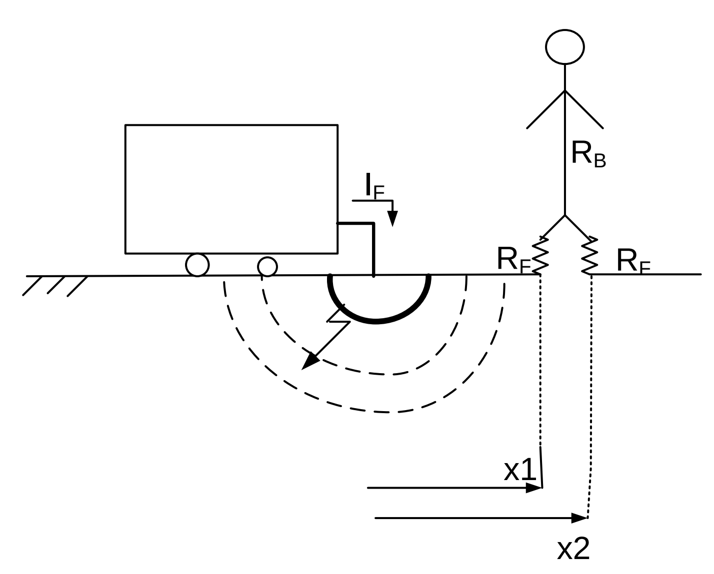
$$E_{Touch} = I_B \times (R_B + 1.5\rho)$$

6-9-2 جهد الخطوة

أما إذا كان الشخص واقفا بجوار هذا المحول – ودون أن يلمسه – لكن هناك مســـــــافة قدرها (x_1 – x_2) بين قدميه كما فى شكل 6-32 فإنه سيكون أيضـا معرضـا فى حالة تسرب تيار قدره I_F من المحول إلى الأرض لنوع آخر من الجهود يســـمى جهد الخطوة Step Voltage ويحســـب من المعادلة التالية (بفرض أن إلكترود التأريض من النوع النصف كروى) :

$$V_{step} = \frac{\rho I_f}{2\pi}\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2}\right) \qquad 6-14$$

ومن واضـــح أنه كلما زادت المســـافة بين قدميه ($X_2 >> X_1$) ، وكلما اقترب الشـــخص من المحول كلما صار جهد الخطوة أخطر.



شكل 6-32

ويمكن أيضا التعبير عن الـ Step Voltage بصورة أخرى، حيث يمكن من الشكل 6- 32 الوصول للمعادلات التالية:

$$E_{Step} = I_B \times (R_B + 2R_F)$$

$$= I_B \times (R_B + 6\rho)$$

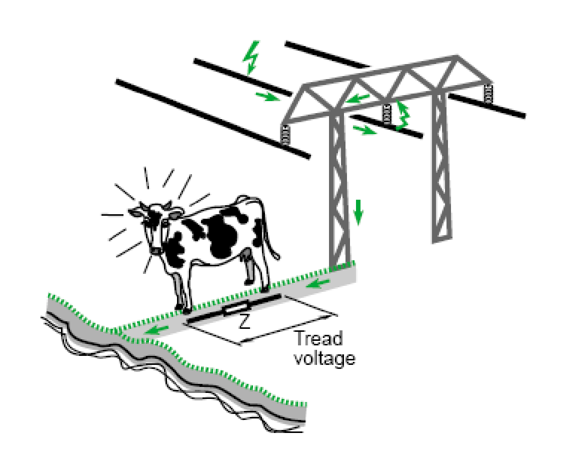
لاحظ هنا أن مقاومة القدمين متصـــلتان هنا على التوالي على عكس الحالة الســـابقة. ويمكن تغيير قيمة Foot Resistance بتغيير المقاومة النوعية لسطح التربة وذلك حسب سمك الطبقة المضافة. وبالتالي تصبح R_F كما يلى:

$$R_F = \frac{\rho_s}{4b} \times C_s$$

أما قيمة I_{Body} فيمكن معرفة أقصى قيمة آمنة يسمح بها من المعادلة التالية (المعادلة لشخص وزنه 50kg)

$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

والفرق في الجهد بين القدمين يمكن أن تصل إلى قيمة خطيرة جدا على حياة الأشخاص والفنيين المتواجدين بجوار المنشآت الكهربية، وأيضا على الحيوانات كما فى شكل 6-33.



شكل 6-33

مثال 6-4:

شخص يقف بجوار المحول الرئيسي لمبنى كبير، فإذا كان المحول مؤرض بواسطة إلكترود نصف كروى نصف قطره نصف متر فى تربة لها مقاومة 120 أوم.متر. ثم حدث قصر بالمحول ونتج عنه تيار قدره 1500 أمبير إلى الأرضي احسب:

1- الجهد الذى يظهر على جسم المحول، وجهد اللمس.

2- جهد الخطوة عبر شخص تقف إحدى قدميه على بعد 4 متر والأخرى 4.8 متر من المحول.

الحل:

$I_F=1500A$ 　　 $\rho=120\ \Omega.m$ 　　 $r = 0.5$ m

$$V_T=\frac{\rho}{2\pi\ r}\times I=\frac{120\times1500}{2\pi\times0.5}=57.29\quad kV$$

هذا الجهد لن يظهر كاملا على جسم الشخص الذى لامس المحول بل سيظهر الفرق بين هذه القيمة وبين قيمة الجهد عند قدميه، حيث قيمة الجهد عند قدميه تتوقف على بعد المسافة بينه وبين الجسم المؤرض، ويبلغ جهد اللمس أقصى قيمته إذا لامس الشخص شيئا آخر مؤرضا بحيث لا تظهر تأثير قيم Foot resistance، وعندها يمكن أن نعتبر جهد جسم المحول هو تقريبا جهد اللمس.

أما جهد الخطوة فيحسب مباشرة من المعادلة 6 – 14 :

$$V_{Step}=\frac{\rho\times I}{2\pi}\left(\frac{1}{x_1}-\frac{1}{x_2}\right)=\frac{120\times1500}{2\pi}\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{4.8}\right)=1.193\quad kV$$

واضح أن قيمة جهد اللمس، وقيمة جهد الخطوة عاليتان، ومن ثم فهناك خطورة على هذا الشخص.

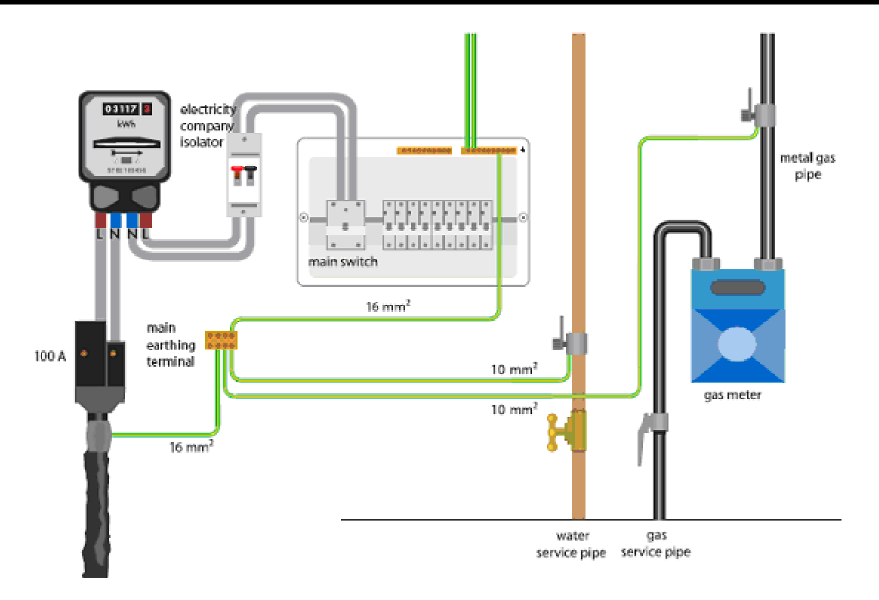
ولحل هذه المشكلة :

- إما بتصغير قيمة مقاومة الأرضي والتى تساوى $\frac{\rho}{2\ \pi\ r}$ فى هذا النوع من الإلكترودات، وذلك بزيادة قطر الإلكترود اذا كان دائرى أو زيادة طوله إذا كان عموديا، أو زيادة عدد نقاط التأريض بتغيير نوعية نظام الأرضي إلى مجموعة من الإلكترودات المتعددة مثلا، وفى هذه الحالة ستكون قيمة التيار مقسومة على N، لكن النتيجة النهائية لن تكون مساوية لـ R/N بسبب Screening Coefficient الذى سبق الحديث عنه.
- أو تغيير نوعية التربة.

6-9-3 أهمية تساوى الجهد

وفى بعض الحالات حيث يمكن أن تجد فى غرفة واحدة عدة موصلات معدنية متجاورة مثل ماسورة معدنية للمياه، وأخرى معدنية للغاز، وكلاهما بجوار كابل التغذية المحاط بــ Cable Sheath معدنى، هذا فضلا عن احتمال وجود لوحة توزيع كهربية لها جسم معدنى أيضا، فعندئذ يلزم أيضا توصيل كل هذه الأجسام المعدنية معا وتوصيلهم جميعا بالـ (Main Earthing Terminal MET)كما فى شكل 6-34

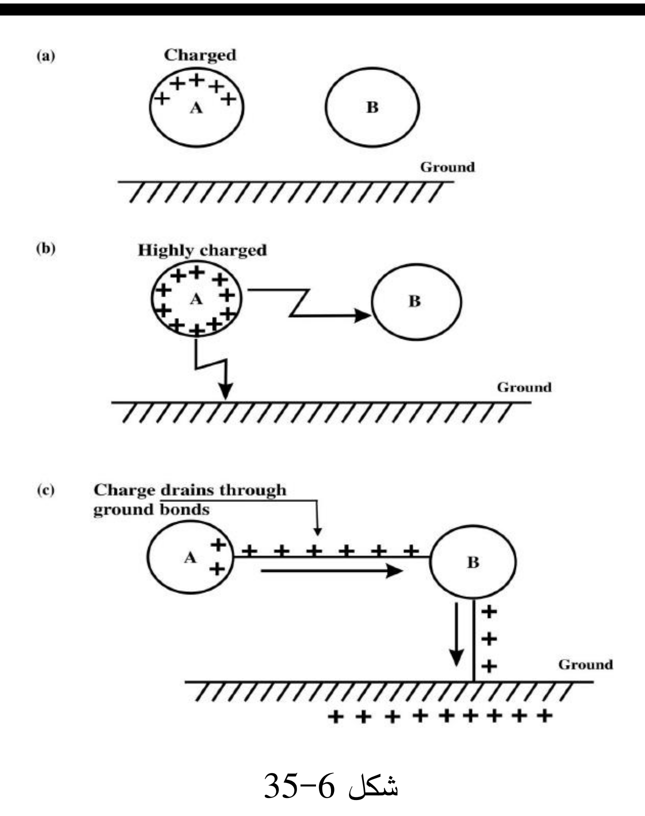




شكل 6-34

ويمكن أن نقول أن الهدف من هذا الأسلوب الذى يعرف بـــ Equi Potential Bonding هو تقليل فرق الجهد بين الأجزاء المعدنية المتجاورة (والتى قد يرتفع جهدها نتيجة قصـــر بالدوائر الكهربية الموجودة بداخلها) ، وكذلك تقليل فرق الجهد بين هذه الأجزاء المعدنية وبين الأرض من ناحية أخرى. ويتحقق ذلك بالربط متســاوي الجهد (Equi Potential Bonding) بين الأجزاء المعدنية المتجاورة من ناحية، وكذلك ربطها بشبكة أرضية ذات مقاومة كهربية منخفضة، و بالتالي حماية الأشخاص من الصدمات المميتة.

وأهمية هذه النقطة تظهر أكثر مع الكهرباء الســاكنة كما فى الشـكل، حيث يمكن أن تتراكم الشـحنات إلي الحد الذى يحدث معه انهيار بين الكرة A، والكرة B، أو بين الكرة A والأرض. فى حين أن توصـــيل الكرتين معا ثم توصـيلهما بالأرض يجنبنا هذه المشـكلة لأن الشـحنات السـاكنة ستتسـرب أولا بأول كما فى شكل 6-35.

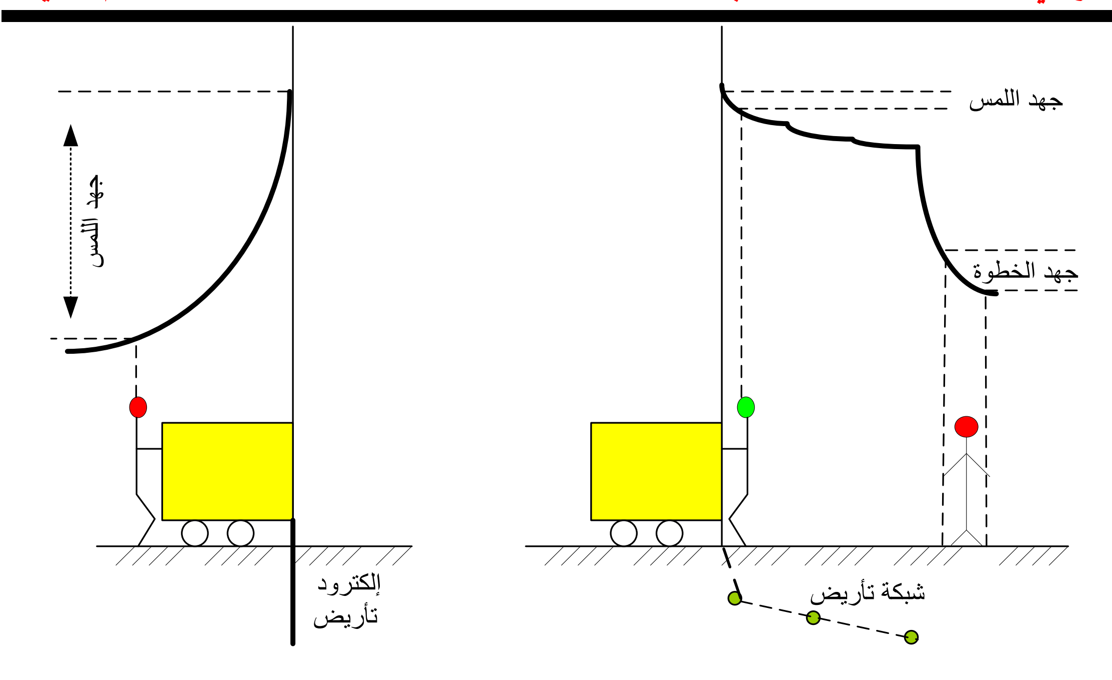


شكل 6-35

6-9-4 أشكال توزيع الجهد

تتفاوت ميزات وعيوب كل نوع من أنواع إلكترودات التأريض التى ســـبق الحديث عنهـا، فمن ميزات الإلكترودات السطحية أن توزيع الجهد على سطح الأرض الناشئ نتيجة مرور تيـــــــار العطل Fault Current خلال هـذه الإلكترودات، SPD Surface Potential Distribution يكون أفضـــــل من الإلكترودات المدفونة رأسيا. ففى حالة الإلكترودات الأفقية يكون قيمة الجهد الذى ينشأ على سطح الأرض بين نقطتين فى المنطقة القريبة من الجسـم المؤرض نتيجة مرور تيار العطل صـغيرا جدا. وشـكل 6-36 يمثل مقارنة بين الجهد الذى يظهر على جسم شـخص واقف على الأرض نتيجة لمسـه لمحول مؤرض فى حالتين :

1. بواسطة إلكترود مدفون رأسيا فى الجزء الأيسر من شكل 6-36.
2. شبكة تأريض Grid فى الجزء الأيمن من شكل 6-36.



شكل 6-33

6-9-5 شبكات التأريض فى المحطات الكهربية

فى الأماكن مثل محطات التوليد أو محطات المحولات، وهى أماكن عالية القدرة high power، تكون معرضة لتيارات الـ Short Circuit Current العالية وشديدة الخطر حيث يمكن أن تتسبب فى ارتفاع قيمة الجهد على موصلات التأريض لقيم خطيرة على العاملين فى هذه المحطات مالم تكون مقاومة الأرضي فيها شديدة الانخفاض، ولذا تخضع هذه الأماكن لنظام تأريض مختلف وهو المعروف باسم شبكة التأريض (الـ Grid) التي تتكون من مجموعة من الـ Meshed Electrodes، وتكون المقاومة المحصلة صغيرة جدا (تذكر قاعدة توصيل المقاومات المتساوية على التوازى ينتج مقاومة تساوى تقريبا قيمة مقاومة واحدة مقسومة على عددهم)، كما يتميز هذا النظام بأن توزيع الجهد فى المساحة المغطاة بالـ Meshed Electrodes يكون شبه متساوي Equi-potential وبالتالى ففرق الجهد بين نقطتين متقاربتين يكون صغيرا، ثم يحدث تزايد تدريجي بدءا من نهاية حدود شبكة التأريض كما فى شكل 6-36 (يمين).

ويجب أن تكون حدود الـ Mesh الخارجية المستخدمة للتأريض أبعد بمقدار متر على الأقل بعيدا عن الجسم المعدنى المراد تأريضه ومن ثم يكاد ينعدم تأثير الـ Touch Voltage على الأشخاص الذين يلمسون هذا الجسم مباشرة كما في الشكل (6-36 يمين) لأن فرق الجهد الذى سيظهر على أجسامهم

سيكون صغيرا، لكنهم قد يكونون فى دائرة الخطر نتيجة الــ Step Voltage إذا وقفوا فى المنطقة الواقعة خارج حدود الـ Mesh، ويتم التغلب على هذه المشكلة بجعل الـ Electrodes الخارجية للـ Mesh أكثر عمقا من الـ Electrodes الداخلية لتقليل المقاومة الأرضية بدرجة أكبر .

لاحظ أن استخدام نظام الـــ Grid أو الـــ Meshed يصبح إلزاميا فى تأريض محطات الكهرباء Substations حيث قيمة تيارات العطل هناك عالية جدا، ومن ثم فاستخدام إلكترود مدفون قرب محول مثلا لا يمكن أن يحقق المقاومة الأرضية الصغيرة جدا التى نحتاجها فى مثل هذه الحالات. وبالطبع فحسابات هذه الـ Grid تكون أكثر تعقيدا ويدخل فيها عدد كبير من المتغيرات لاسيما فى محطات الكهرباء ذات الجهد العالي، وهذا خارج نطاق الكتاب الذى يعنى فقط بالتمديدات الكهربية، لكن هذه النقطة يمكن دراستها في الكتاب الرابع : هندسة القوى الكهربية.

10-6 نظم التأريض عند المستهلك

فى جزء سابق تحدثنا عن تأريض نقطة التعادل عند مصادر التغذية، أما هنا فنتحدث عن خمسة نظم شائعة فى العالم لتأريض الأجسام المعدنية الغير حاملة للتيار عند المستهلك، وهى تختلف أساسا فيما بينها فى العلاقة بين أسلوب تأريض مصدر التغذية، وأسلوب تأريض معدات المستهلك. والأسماء المختصرة لهذه الطرق الخمسة هى:

- **TN-S.**
- **TN-C.**
- **TN-C-S.**
- **IT.**
- **TT.**

وقد اختيرت الحروف اللاتينية بعناية للتعبير عن أهم ما يميز كل نظام عن الآخر، كما يلى:

T	وهى مشتقة من الكلمة الفرنسية Terre وتعنى الأرض Earth.

N	وتعنى خط التعادل Neutral.

C وتعنى شيئا مشتركا Combined.

S وتعنى شيئا منفصلا Separate.

I وتعنى شيئا معزولا Isolated.

والحرف **الأول** من اسم أى نظام من النظم الخمسة السابقة يرمز إلى طريقة توصيل نقطة التعادل **Neutral Point عند مصدر التغذية**، وهو أحد أسلوبين اثنين:

- إما موصلة بالأرض (فى الأنظمة التى تبدأ بحرف الـ T)
- وإما معزولة Isolated (فى الأنظمة التى تبدأ بحرف الـ I) ، وهو نظام وحيد IT.

أما الحروف الثاني والثالث والرابع فهى تحدد نظام التأريض **عند المستهلك.**

فالحرف الثاني :

- إما أن يكون T : أى أن **تأريض المستهلك** له أرضي منفصل، وهذا يعنى أنه منفصل تماما عن أرضي المصدر، ولهذا أصبح للمصدر T، وللمستهلك T أخرى، وهو ما يحدث فى نظام الـ TT.
- أو أن يكون N فتعنى أن التأريض عند المستهلك له علاقة بالـ Neutral. و هذه علاقة تتحدد حسب الحرف الثالث والرابع.

والحرف الثالث قد يكون C، كما فى النظام :

- TN-C وفيه يكون خط الـNeutral، وخط الأرضي Protective Earth، PE يمثلان خطا واحدا مشتركا طوال المسافة من المصدر وحتى المستهلك، ومن ثم فإن خط تأريض المستهلك يعتبر متحد "Combined " مع الـ " Neutral "، ومن هنا جاء الحرفين N-C.

كما قد يكون الحرف الثالث S، كما فى النظام :

- TN-S وفيه يكون خط التعادل N وخط الأرضي PE منفصلين تماما طوال المسافة من المصدر وحتى المستهلك، ومن ثم خط تأريض المستهلك يعتبر مفصولا "Separate " عن خط الـ " Neutral "، ومن هنا جاء الحرفين N-S.

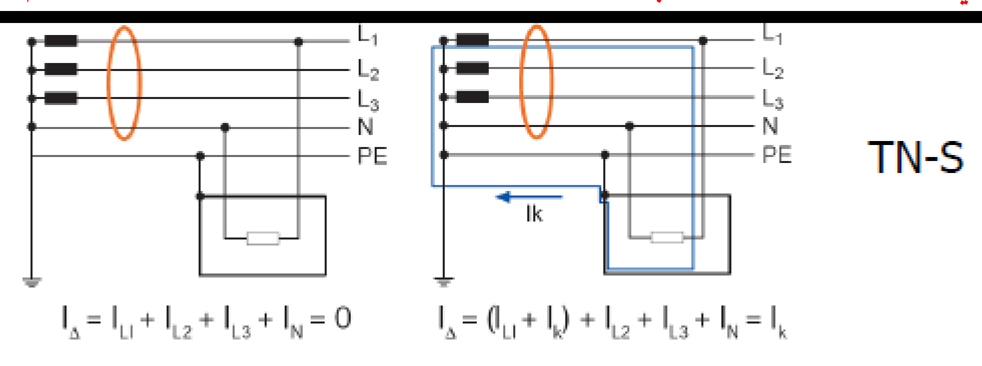
وقد يكون لدينا حرف ثالث، و حرف رابع، كما فى النظام :

- TN–C–S وفيه يكون خط الـ Neutral وخط الأرضي (PE) خطا واحدا طوال المسافة من المصــدر وحتى مدخل بيت المســتهلك أى إنهما متحدان Combined في هذا الجزء، لكنهما ينفصــلان داخل بيت المســتهلك فيصــبحان Separate، أى أن خط تأريض المســتهلك يكون "Combined " مع خط الـ " Neutral " فى جزء من الشبكة " لكنه أيضا Separate عن الـ " Neutral " فى جزء آخر، ومن هنا جاء ت حروف هذا النظام.

وفيما يلى تفاصيل أكثر عن هذه الأنظمة.

6-10-1 النظام الأول : TN-S

فى هذا النظام توجد نقطة تأريض واحدة عند المصــدر. وكما هو واضــح من اســمه، فلدينا تأريض خاص بالمصــدر (الحرف الأول من اليســار T) ، ولدينا أيضا خط تأريض للمســتهلك منفصــل تماما **S**eparate عن خط الــ **Neutral** طوال المسافة من المصدر وحتى المستهلك، لكنهما يلتقيان عند المصدر فقط كما فى شكل 6-38.



شكل 6-38

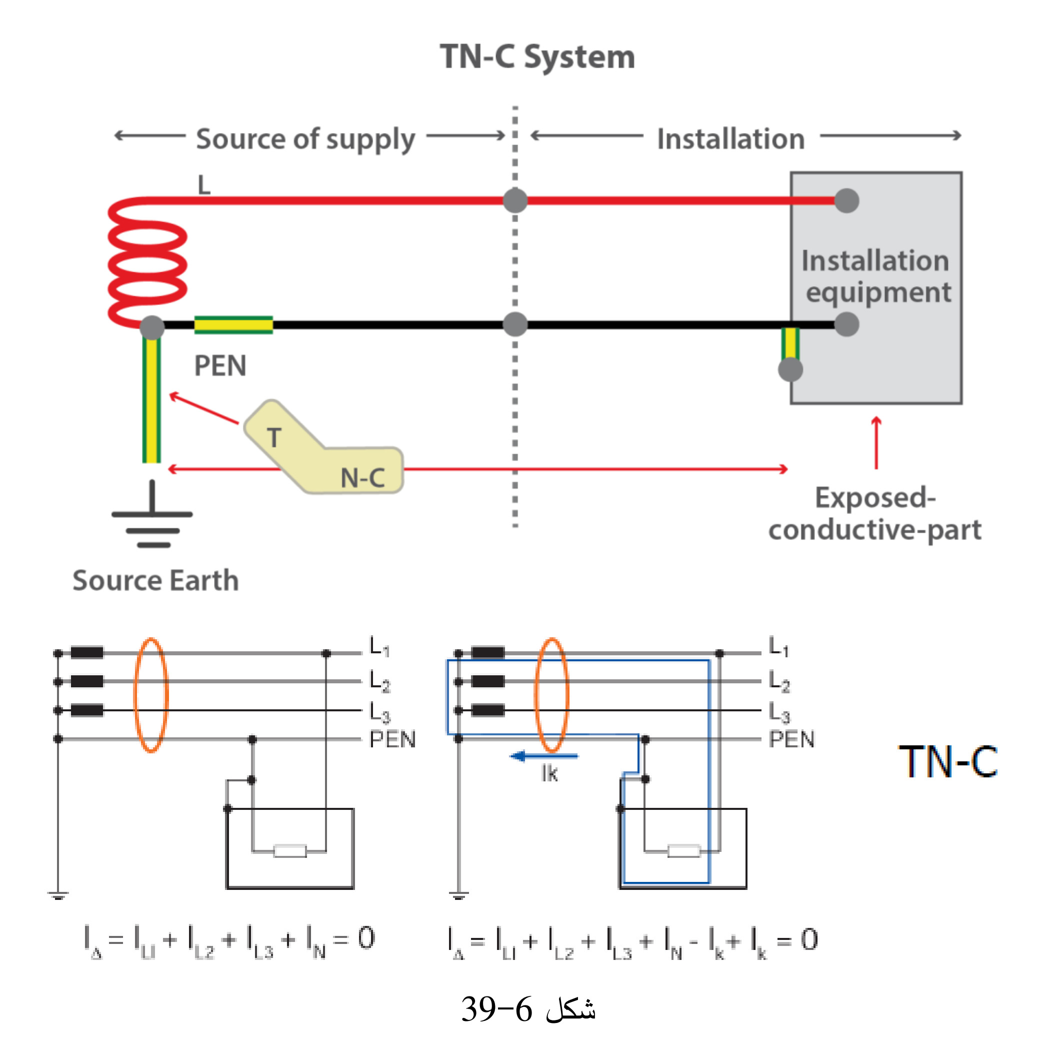
ويجب ألا يفهم من الرسم أن هناك دائما كابل خاص بخط الأرضـي يمدد بجوار كابل الــــ Power على طول المســـافة من المصـــدر وحتى المســـتهلك فهذا غير عملي، وإنما الواقع أن الحماية المعدنية للكابل Cable Sheath هى التى تســتخدم لربط نقطة التأريض عند المســتهلك بنقطة التأريض عند المصــدر، وهذه الحماية المعدنية للكابل ممتدة بطبيعة الحال بطول الكابل من المستهلك وحتى المصدر، فليس هناك داع لكابل منفصل.

وهذا النظام كان شائعا فى المدن الأوروبية القديمة، ويتميز بتأمين مسار من مكان المستهلك حتى مصدر التغذية لتيار العطل الأرضي الحادث عند المستهلك. لكن يعيبه وجود شبكة أرضية واحدة للجهد المنخفض والمتوسـط. وقد يبدو للبعض – بطريق الخطأ – أن هذه ميزة اقتصــادية، لكن الحقيقة أن تجميع عناصـر شبكة الجهد المتوسـط وعناصـر شبكة الجهد المنخفض إضـافة إلى نقاط تأريض المسـتهلك جميعهم على شـبكة أرضـي واحدة يعنى أن أى عطل فى شـبكة الجهد المتوسـط يمكن أن يتسـبب فى رفع الجهد عند المســتهلك لقيم خطيرة فالجميع أصـبحوا كما يقول المثل فى "سـفينة واحدة". كما أن حدوث أى قطع فى الحماية المعدنية للكابل فى أى نقطة على طول المســافة – التى قد تكون طويلة – من المصــــدر وحتى المستهلك يعنى أن أجهزة المستهلك صارت غير مؤرضة.

6-10-2 النظام الثاني : TN-C

فى هذا النظام يســتخدم موصـــل التعادل Neutral كخط تأريض، ومن ثم فهناك نقطة تأريض واحدة عند المصدر (الحرف الأول من اليسار T) ، وهناك اتحاد **Combined** بين خط تأريض المستهلك PE وخط التعادل N، فهما فى الواقع خطا واحدا على طول المسافة من المصدر وحتى المستهلك كما هو واضح فى

شكل 6-39. ولذا يسمى هذا النظام أيضا بـــ **PEN**– system (Protective Earthing Neutral).
وهذا النظام غير شــائع فى بلادنا وإن كان موجودا بكثرة فى الولايات المتحدة. ويمكن اســتخدامه فى بلادنا فقط إذا كانت التغذية من مصادر توليد خاصة، ولا يوجد أى اتصال بينها وبين الشبكة العمومية للدولة.

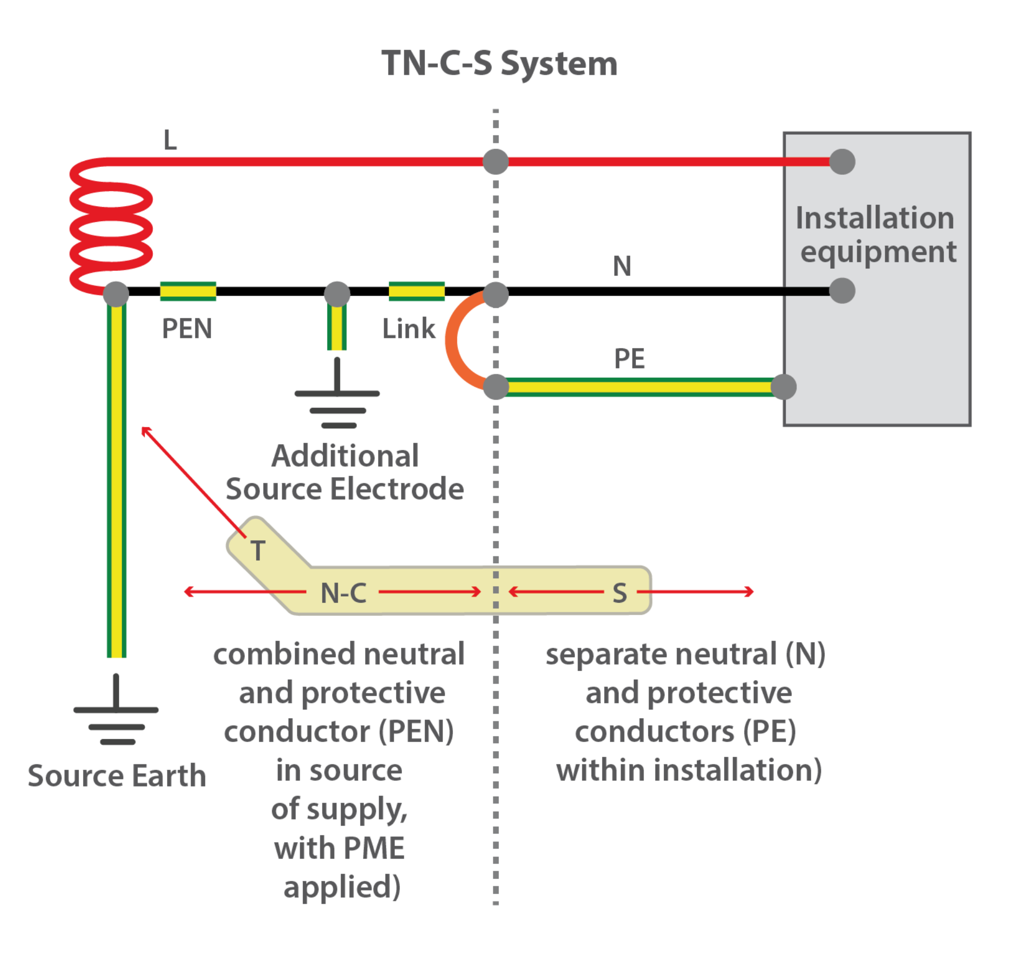


شكل 6-39

ويتميز النظام بأنه اقتصادي جدا فهناك موصل واحد مشترك بين خط التعادل وخط الأرضي لكن يعيبه أن حدوث أى قطع فى هذا الخط المشترك فى أى نقطة على طول المسافة سيرفع جهد الأجسام المعدنية عند المستهلك إلى قيم خطيرة لاسيما إذا كانت الأحمال غير متزنة.

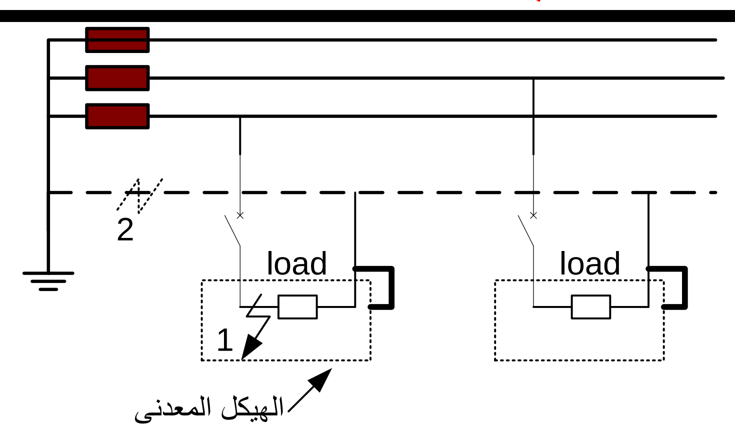
6-10-3 النظام الثالث: TN-C-S

وهو الأكثر شـيوعا فى أوروبا، وهو نظام عالج جزئيا المشـكلة السـابقة فى النظام الثاني بأن فصـل بين الأرضي والتعادل داخل حدود المستهلك فقط، لكن الــ Neutral والأرضي مشتركان فى بقية المسافة بين المسـتهلك والمصـدر (شكل 6-40)، ومن ثم فالحل غير كامل خاصـة إذا حدث قطع فى موصل الــ Neutral الموحد، فعندئذ يمكن أن تتأثر بتيارات الأعطال الخاصة بالمستهلكين المجاورين.



شكل 6-40 : نظام TN-C-S

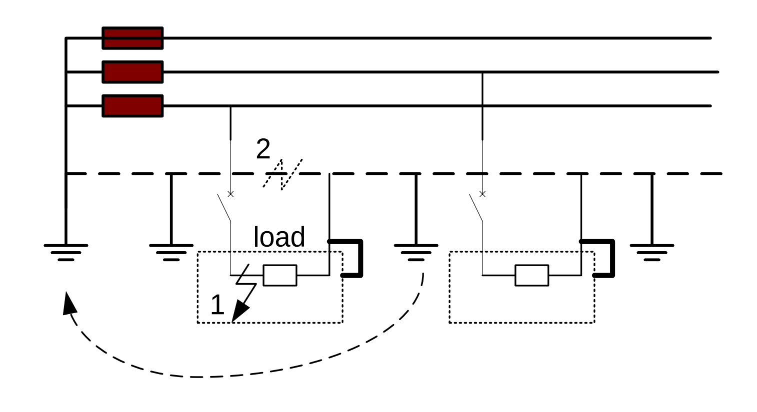
ولتوضيح هذه النقطة فإننا نفترض وجود اثنين من المستهلكين على هذا النظام كما فى شكل 6-41 :



شكل 6-41

فعند حدوث عطل عند النقطة -1، فإن النظام فى الظروف العادية يؤمن طريقا لتيار العطل إلى المصـدر دون أية مشـاكل، لكن المشـكلة تحدث إذا كان هناك قطع فى موصـل التعادل عند النقطة-2 مثلا، فعندئذ سيتكهرب موصـل التعادل (على اليمين من النقطة-2) وبالتالى سيتأثر المستهلك الثاني (رغم إنه لا توجد لديه أعطال) وسيشعر بالجهد العالي على الهيكل المعدنى لأجهزته.

ولعلاج المشاكل السابقة فقد أضيفت نقاط تأريض أخرى كما فى شكل 6-42 وعندها يسمى هذا النظام بـــ Protective Multiple Earthing، PME. لاحظ فى هذه الحـالة أن وجود القطع عند النقطـة-2 لم يحدث أى مشـاكل لأن تيار العطل وجد طريق آخر كما فى الرسم إلى المصـدر قبل أن يمر بهياكل أجهزة المستهلك المجاور.

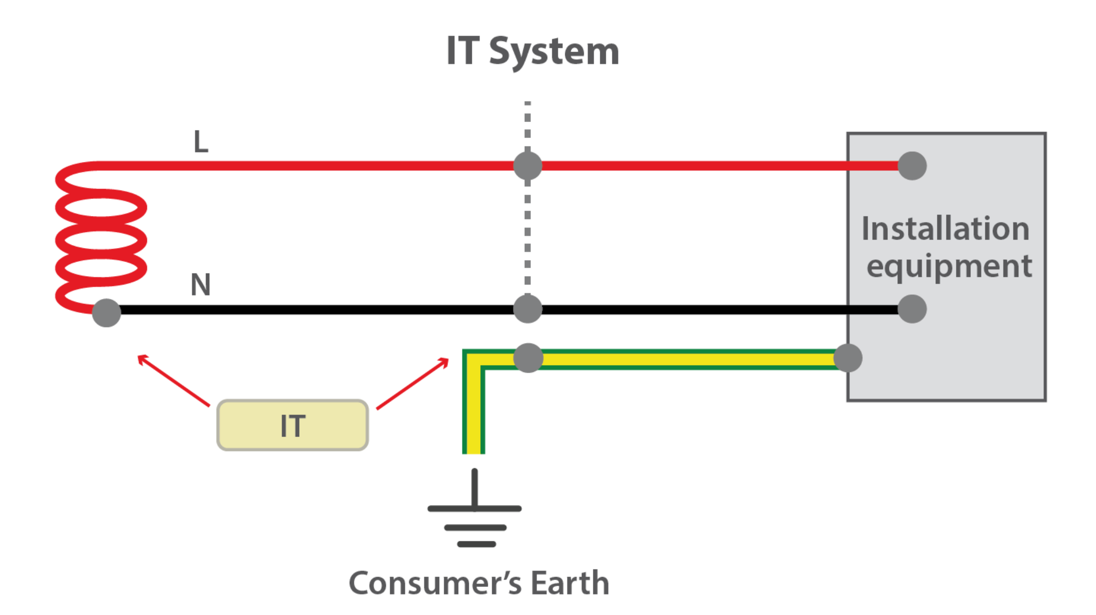


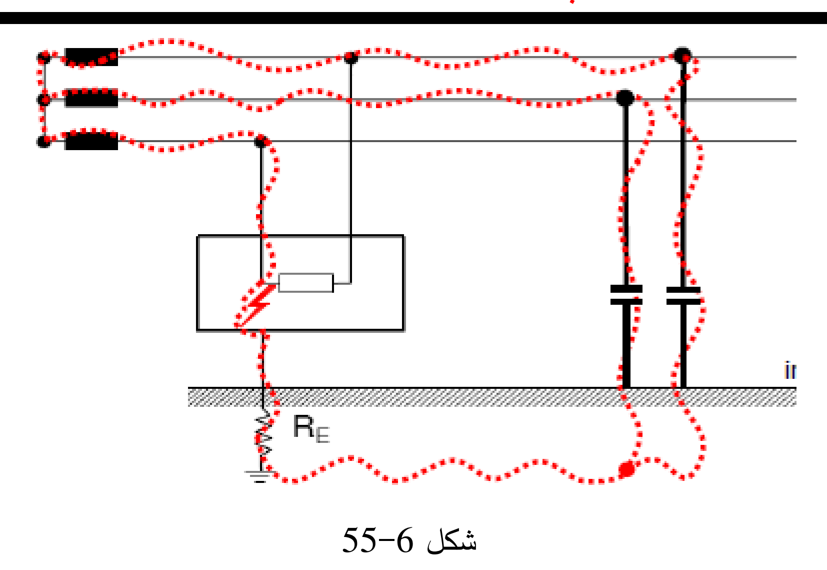
شكل 6-42

6-10-4 النظام الرابع : IT

وهو النظام الوحيد الذى تكون فيه نقطة التعادل عند المصـــدر معزولة Isolated، ويتميز بأن تيار العطل الأرضـــي فيه أصـــغر من كل أنظمة التأريض الأخرى وقد لا يشـــعر به أحد، كما أنه أصـــلا لا يؤثر على اســـتمرارية التغذية بالشـــبكة، وهذه النقطة الأخيرة هى التى جعلته مفضـــلا فى بعض الأماكن الهامة مثل غرف العمليات فى المســتشـفيات، وبعض العمليات الإنتاجية الحســاســة لانقطاع التيار فى المصــانع. مع ملاحظة أن هذه ميزة قد تصـــبح عيبا فى غير هذه التطبيقات !!، فجهد نقطة التعادل ســيرتفع بدرجة كبيرة مقارنة بالأنظمة الأخرى، وقد ينخفض التيار إلى درجة أن أجهزة الوقاية تصـــبح غير قادرة على تمييزه عن التيار الطبيعي، ومن ثم لا يصـلح إلا للتطبيقات الحســاســة لانقطاع التيار كما ذكرنا. وأخيرا نشـير إلى أن هذا النظام يناسـب فقط الشـبكات المعزولة Isolated Systems (شـبكات التغذية الخاصـة الغير مربوطة بالشبكة العامة).

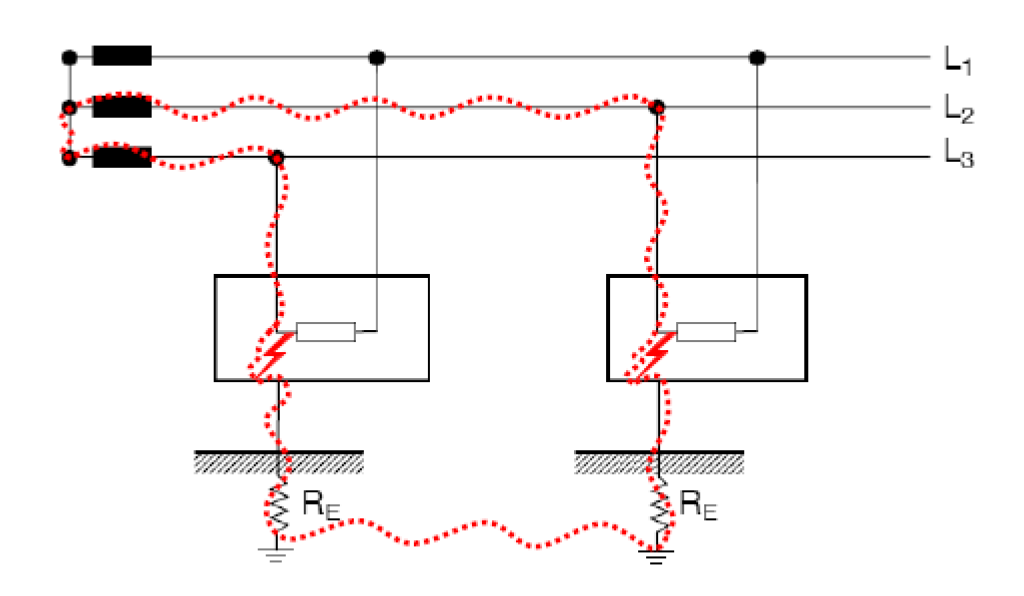
لاحظ أنه عند حدوث عطل سيمر تيار لكنه صـغير جدا من خلال المكثفات الشـاردة كما في الشـكل. هذا يعنى أن تيار العطل يعتمد على قيمة العزل.





شكل 6-55

الأعطال في هذا النوع لا تكتشف مباشرة إلا إذا حدث عطل ثاني متزامن مع العطل الأول كما في الكل التالى.



6-10-5 النظام الخامس : TT

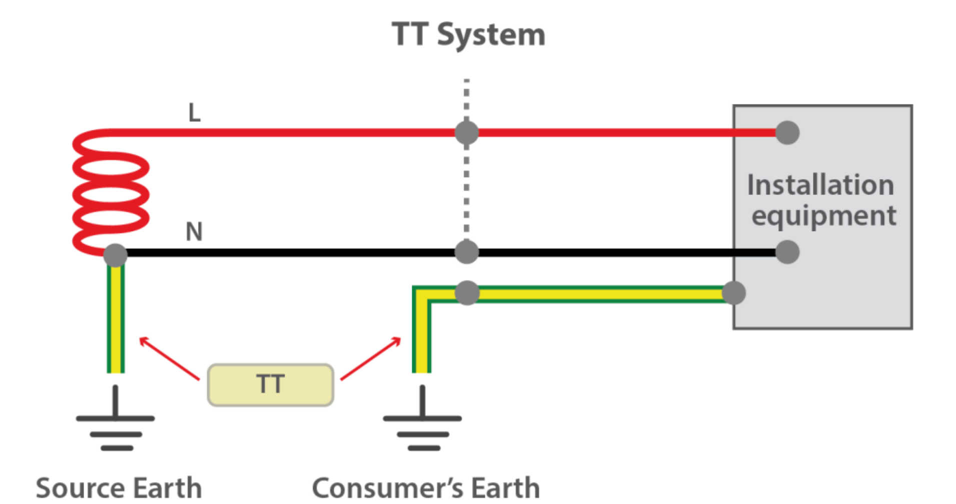
وهو أكثر الأنظمة أمانا، ويسمى نظام التأريض المباشر، فهناك فصل تام بين نقطة التأريض عند المصدر وبين تأريض المستهلك كما فى شكل 6-43. وتقوم الأرض بدور الموصل الرابط بين نقطة العطل

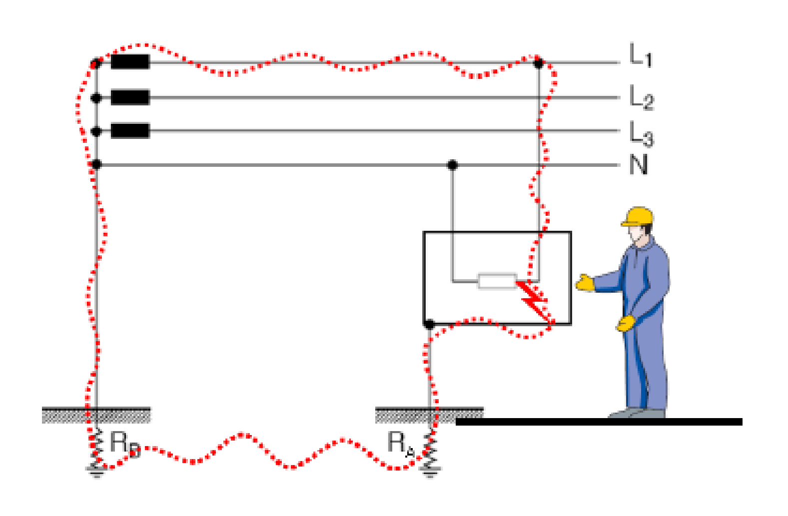
ومصدر التغذية حيث يعود تيار العطل خلالها، وبالتالى فالمستهلك أصبح بعيدا عن مشاكل الشبكة العامة وكذلك مشاكل المستهلكين الآخرين. لكن بالطبع هذا يستلزم أن يقوم المستهلك بعمل شبكة الأرضي الخاصة به، ومن ثم فهو أكثر تكلفة، إضافة إلى تركيب جهاز للوقاية ضد التسريب الأرضي Earth Leakage Protection حيث صار معزولا عن أجهزة الوقاية بالشبكة الخاصة بالحماية ضد التسريب.

لاحظ في هذا النظام أن الشخص الذى يلمس الجهاز أثناء العطل سيتعرض لجهد قدره

$$V_{Toutch} = I_F \times R_A$$

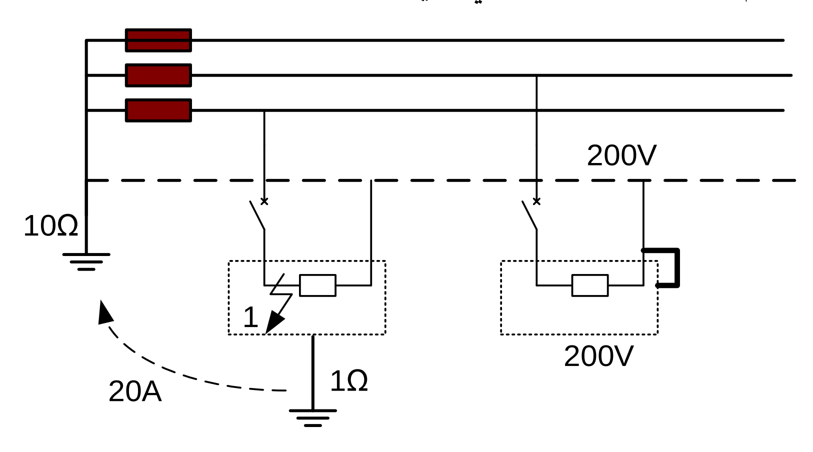
كما في الجزء الثانى من الشكل 6-43.





شكل 6-43

ويجب أن نشـير هنا إلى نقطة مهمة جدا، وهى إنه يجب ألا يسـتخدم نظام TN-C-S مع نظام التأريض المباشر TT فى منظومة واحدة كما فى شكل 6-44. فعند حدوث عطل عند النقطة-1 سيمر تيار العطل خلال مقاومة الجهاز الأول (فرضا تساوى 1Ω) وأيضا خلال مقاومة تأريض مصدر التغذية (فرضا تساوى 10Ω) ، فإذا كان جهد التغذية يسـاوى 220 V فإن تيار العطل سـيسـاوى (220V ÷ 11Ω= 20A) ، وهذا التيار سـيتسـبب فى ظهور جهد قيمته (20A x 10Ω = 200V) على خط التعادل، مما يسـبب مشاكل لبقية المستهلكين بالشبكة. لاحظ أنه لو كان المستهلك الثاني لديه تأريض مباشر أيضا لما حدثت هذه المشكلة، ومن ثم فالسبب هو وجود نظامي تأريض مختلفين.



شكل 6-44

كما يجب فى حالة نظام الـ TT ما يلى:

1- تجنب ربط الأرضي بخط التعادل.

2- تجنب ربط الأرضي بمواسير المياه.

3- يمنع منعا باتا اعتبار خط التعادل على إنه خط للأرضي.

4- يمنع ربط أرضي الشبكة بأرضي المستهلك.

لاحظ أنه في منظومة التأريض من نوع TT تشكل مقاومة الإلكترودات الأرضية الجزء الأكبر من المقاومة الكلية لدائرة الــ Earth Fault، لذا تلعب كفاءة شبكة الأرضي عند المستهلك دورا رئيسيا في فعالية شبكة الأرضي ككل، وهذا يتطلب الاهتمام بمراقبتها وصيانتها دوريا.

11-6 الأمن والسلامة فى المشروعات (متطلبات الأوشا)

6-11-1 تشريعات الأمن والسلامة

حتى عام 1970 لم تكن هناك تشريعات منتظمة فى مجال السلامة والصحة المهنية بالولايات المتحدة الأمريكية وقد بلغ متوسط الحوادث الجسيمة التى تقع سنويا حوالى 14000 حالة وفاة وإصابة جسيمة. وفى سنة 1970 اعتمد الكونجرس الأمريكى تشريعات السلامة والصحة المهنية OSH ACT وفى عام 1971 أنشئت إدارة السلامة والصحة المهنية OSHA فى وزارة العمل الأمريكية وذلك لحماية حوالى 90 مليون عامل أمريكى يقضون أوقاتهم فى العمل من مخاطر العمل المختلفة ومن إصابات وحوادث العمل وتوفير ظروف عمل آمنة لهم.

6-11-2 ما هى الأوشا OSHA :

الحروف الأولى من إدارة السلامة والصحة المهنية OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION فى وزارة العمل الأمريكية، وهى الجهة المسئولة عن إصدار تشريعات السلامة والصحة المهنية والمواصفات القياسية الخاصة بها، كذلك متابعة وفرض تنفيذها فى مواقع العمل المختلفة بالولايات المتحدة الأمريكية.

6-11-3 القوانين الفدرالية Code of Federal Regulation (CFR)

القوانين والتشريعات الفدرالية الأمريكية وتنقسم إلى 50 عنوان، وتقع القوانين والتشريعات الخاصة بالسلامة والصحة المهنية (OSHA) تحت عنوان رقم 29. (وزارة العمل)

وينقسم كود القوانين الفدرالية كما ذكر أعلاه إلى 50 عنوان (Titles) وكل عنوان ينقسم بدوره إلى أبواب (Chapters)، كذلك ينقسم كل باب إلى أجزاء (Parts) وينقسم كل جزء إلى أقسام (Sections) وتقع القوانين الخاصة بإدارة السلامة والصحة المهنية (OSHA) تحت رقم 29.

وتغطى قوانين الأوشا عدة أجزاء من أهمها:

- الجزء رقم 1910 قوانين السلامة الخاصة بالصناعات العامة (General Industry)
- الجزء رقم 1926 قوانين السلامة الخاصة بالإنشاءات (Construction)

وفيما يخص إجراءات الأمن والسلامة الكهربية فتتطلب مواصفات الأوشا أن يتم توفير الحماية اللازمة من خطر ملامســـة التوصـــيلات الكهربية الحية التى يبلغ جهدها الكهربي من 50 فولت وأكثر وذلك بإحدى الطرق الآتية:

1. وضع جميع التوصيلات الحية داخل غرفة معزولة ويمنع دخولها لغير المختصين.
2. عزل الأجزاء الحية بواسطة حاجز دائم بحيث لا يستطيع أى شخص الدخول والوصول إليها إلا الأشخاص المختصين.
3. تركيب الأجزاء الكهربية الحية على ارتفاع لا يقل عن 8 قدم (2.5 مترا) عن الأرض حتى لا يمكن الوصول إليها بسهولة.

6-11-4 معدات الوقاية الشخصية أثناء العمل بالكهرباء:

1. استعمال واقي الرأس Head Protection الذي لا يوصل التيار الكهربي ويمنع استخدام الخوذات المصنوعة من الألومنيوم عند العمل بالقرب من الكهرباء.
2. استخدام واقيات العين والوجه عند العمل بالكهرباء وتكون هناك مخاطر من تطاير شرر.
3. استخدام الأحذية ذات الرقبة الطويلة وتكون من مادة عازلة للكهرباء.
4. جميع المعدات اليدوية التي يتم اســتخدامها أثناء العمل بالأجهزة الكهربية يجب أن تكون معزولة. كذلك المعدات اليدوية التي تدار بالكهرباء يجب أن تكون موصــلة بالأرض أو تكون من النوع ذو العزل المزدوج Double Insulated Equipment. شــكل 6-45 يجمع بعضـــا من أهم هذه المعدات.



شكل 6-45

6-11-5 الإجراءات الواجب اتباعها للوقاية من حوادث الكهرباء:

- يجب فصـــــل التيار الكهربي عن أية Equipment أو جهاز كهربائي قبل إجراء أية عمليات صيانة عليه مع وضـع لافتة (TAG) عند مكان فصـل التيار الكهربي تفيد ذلك حتي لا يتم إعادة التيار الكهربي بواسطة أي شخص آخر.
- لا تلبس الخواتم والساعات والمجوهرات عند العمل قرب الدوائر الكهربية.
- لا تستعمل السلالم المعدنية أو العدد اليدوية غير المعزولة عند العمل في الأجهزة الكهربية.
- يجب التأكد من أن جميع الأجهزة والمعدات الكهربية الثابتة والمتحركة موصـولة بالأرض بواسـطة سـلك وهذا السـلك لا يحمل تيارا كهربائيا ولكن عند حدوث قصـر كهربائي في الدائرة ومرور تيار خاطئ من الســـلك الحي (Hot Wire) الحامل للتيار إلى إطار أو غلاف الEquipment أو الآلة فإذا كان هذا التيار كبيرا يدفع القاطع الكهربي (Circuit Breaker) أو الفيوز (Fuse) علي فصـــل الدائرة الكهربية أو يحمل الســلك الأرضـــي التيار الكهربي إلى الأرض ويمنع مروره

الخاطئ خلال جسم الإنسان. لذا يجب التأكد باستمرار من سلامة الوصلة الأرضية للEquipment.

- لا تمرر الأسلاك الكهربية من خلال الأبواب أو النوافذ وإبعادها عن المصادر الحرارية كالدفايات ولا تعلقها علي المسامير.
- لا تتغاضي عن الأجزاء المتآكلة في الأسلاك الكهربية وقم بتبديلها فورا أو تغطيتها بشريط عازل بصفة مؤقتة لحين تبديلها.
- يجب أن يتدرب العاملون في مجال الكهرباء علي استخدام طفايات الحريق المناسبة للاستعمال في حرائق الكهرباء، وهي طفايات البودرة وطفايات ثاني أكسيد الكربون وطفايات الهالون، مع الأخذ في الاعتبار عدم استخدام الماء أو الطفايات التي تحتوي علي الماء علي الإطلاق في إطفاء الحرائق التي تحدث في المعدات والتوصيلات الكهربية وذلك لأن الماء موصل جيد للكهرباء فيتسبب في صعق الشخص المستعمل للطفاية.
- في حالة إصابة أي شخص بصدمة كهربية يجب عدم ملامسته علي الإطلاق والقيام أولا بفصل التيار الكهربي وإبعاد الشخص عن مصدر التيار الكهربي بواسطة لوح أو قطعة من الخشب أو أية مادة عازلة أخرى، وبعد ذلك يمكن إجراء الإسعافات الأولية (إذا كان الشخص مدربا علي ذلك) وتشمل التنفس الصناعي للشخص المصاب، ويتم استدعاء الطبيب علي الفور أو نقل المصاب إلى أقرب مستشفى.

الفصل السابع

نظم الإضاءة الكهربية

7

نظم الإضاءة الكهربيـــــــــــة

Illumination

7-1 علم الإضاءة

الإضاءة Lighting هي إسقاط ضوء على سطوح الأشياء بحيث نتمكن من رؤيتها بالعين المجردة. وتكمن أهمية الإضـاءة في أن البشـر يلتمسـون المعرفة ويحصـلون على القسـم الأعظم من معلوماتهم عن العالم المحيط بهم بطريق الرؤية أو الإبصـار، كما أن الإضـاءة تسهم في تحقيق الاسـتقرار النفسي للإنسان في عمله وفي أوقات راحته إلى جانب إسـهامها في المحافظة على صـحة الإنسـان وسـلامته. فعندما تكون الإضـاءة حسـنة والرؤية جيدة يزداد مردود العمل ويتحسـن نوعه وتتناقص إصـابات العمل وأخطاؤه، وتنخفض حوادث الطرق إلخ.

على الجانب الآخر فإن المجهود الذى يبذل بسبب ضعف الإضاءة يسبب الكثير من التعب بالإضافة إلى كثير من الأخطاء. وقد يصاب الإنسان بالصداع نتيجة تفاوت شدة الضوء وسوء توزيعه حيث يتسبب تتابع اتساع حدقة العين وضيقها فى الكثير من الإجهاد للأعصاب.

والتصـميم النموذجي للإضـاءة ليس عملا هندسيا بحتا، فالمصمم الناجح يحتاج إلى أن يأخذ فى الاعتبار المتطلبات الصحية المتعلقة بخصائص الرؤية عند الإنسان مثل حساسية العين للضوء وقدرتها على تمييز الألوان والتباين، وحدة البصر، وسرعة الإدراك البصري، وثبات الرؤية الواضحة.

وفى البداية هناك سـؤال مهم، وهو: على من تقع مسـئولية أعمال الإضـاءة ؟ هل هى مسـئولية مهندس الديكور، أم المعماري، أم مهندس الكهرباء ؟ والواقع أنها مسـئولية جماعية لكن المسـئول الأسـاسـي الذى

يفترض أن يمتلك كافة أدوات التصـــميم هو مهندس الكهرباء. ومن هنا جاءت أهمية هذا الفصـــل فى هذا الكتاب.

7-1-1 لمحة تاريخية

برزت حاجة الإنســـان منذ عصـــور ما قبل التاريخ إلى ســـد النقص فى الإضـــاءة الطبيعية بالإضـــاءة الصـــناعية، فاستغل النيران والمشاعل والشموع والمصابيح وغيرها، وكانت الغاية من استخدام الأضواء الصناعية منذ البداية توفير إمكانية الرؤية في الظلام، ثم تطورت تقنيات الإضاءة مع تطور قدرة الإنسان على التحكم في النيران، وتوصـــله إلى مصـــادر للضـــوء ذات فعالية وكفاءة عالية، وإلى إيجاده الوســـائل المناسبة للتحكم فيها، فوضع الشمعة على شمعدان ليزيد في ضيائها ويضفي جمالاً على نورها، وركب للمصـــباح الزيتي عدداً من العاكســـات تســـاعد على تركيز الضـــوء، واســـتعمل فيه فتيلاً من القطن قابلاً للضـــبط، وجعل للمصـــباح منافذ تســـمح بمرور تيار من الهواء يوفر له أكبر كمية من الأكســـجين اللازم للاحتراق كما في مصباح أرغاند Argand سنة 1784م، وركب له زجاجة أسطوانية (بلّورة) مكوّرة الوسط تزيد من تركيز الإضاءة (تشبه لمبة الجاز بمصر)، وهى اللمبة التى استمرت فى الخدمة بمصر لسنين مديدة، و درس على ضوئها الكثيرون من رجال الفكر و العلم.

وبعد اكتشـــاف النفط اســـتبدل بالزيت الكيروســـين (زيت الجاز) و زيت البارافلين لتحســـين نوعية الاحتراق، وأدى ذلك كله إلى الحصـــول على مصـــابيح ســـهلة الصـــنع قليلة التكلفة يمكن الاعتماد عليها، فتوقف استخدام الشموع للإضاءة، و إن ظلت للزينة.

غير أن اكتشـاف الكهرباء في أواسـط القرن التاسـع عشـر أحدث ثورة عالمية في تقنيات الإضـاءة كان لها أطيب الأثر في تبدل معيشة الإنسان، فقد استخدمت الكهرباء في الإضاءة بادئ ذي بدء بالقوس الكهربية بين قطبين من الكربون، و طور هذا النوع ليستخدم فى إضاءة أحد شوارع لندن سنة 1820، معطياً ضوءاً ساطعاً قريباً من الضوء الطبيعي.

إلا أن اختراع المصباح الكهربي ذي السلك المتوهج سنة 1878 كان الخطوة العلمية الأولى في الإضاءة بالكهرباء. وكان أول من اســـتعمله تجاريا توماس إديســـون Thomas Edison في الولايات المتحدة الأمريكية، و كان عمله جزءاً من مشروع متكامل للإضاءة الكهربية شمل توليد الطاقة، نقلها و توزيعها.

وكان أول منزل فى العالم يضاء بالكهرباء فى لندن- منزل جوزيف سوان Joseph Swan (1880)، ثم اشتغل كبار الفيزيائيين و المنتجين في العمل على تحسين أنواع هذه المصابيح و إطالة أعمارها (استعمال

سلك التنغستين، واختيار الضوء الأبيض المائل للصفرة، وملء المصباح بغاز الأرغون ثم الهالوجين واليود وغير ذلك).

كانت الخطوة التالية في الإضاءة الصناعيـــة بالكهرباء هى ابتكار أنابيب التفريــــــــــغ الغازية (Gas Discharge)، وهي أنابيب الإضــاءة التي تعمل بمبدأ القوس الكهربية داخل أنبوب مفرغ من الهواء يحوي كمية قليلة من بخار عنصر ما مثل النيون مثلاً (الضوء الأحمر) أو بخار الزئبق (الضوء الأزرق والأبيض المائل للزرقة)، وذلك فى الفترة من 1930 إلى 1940. وقد شـــاع اســتعمال هذه الأنابيب في الإضـــاءة المنزلية وفي المصـــانع ولتزيين الواجهات منذ الثلاثينات من القرن العشــرين حتى غدت بعد تحســينها من أفضل الوسائل العملية في الإضاءة الداخلية، ومن أشهر أنواعها مصباح الفلورسنت Fluorescent.

ولقد طرأت تحســينات كثيرة في غضــون النصــف الثاني من القرن العشــرين على أنابيب التفريغ الغازية، فابتكر مصــباح تفريغ بخار الزئبق العالي الضــغط، ومصــباح تفريغ الصــوديوم العالي الضــغط أيضــا الذي اســتعمل في إضــاءة الشــوارع وواجهات المباني والآثار، كما اســتعمل في الأجهزة التي تحتاج إلى إضــاءة شديدة. وكان من آخر ما أنجز في هذا الصدد مصباح التفريغ الذى يستخدم غاز الزنون الخامل Xenon ذو الطاقة العالية، والذى يشبه ضوؤه ضوء الشمس تقريباً. ثم اخترعت اللمبات الموفرة (1978)، ثم حدث التطور الهائل فى لمبات البيان الصـــغيرة المعروفة باســـم Light Emitting Diode، LED وصـــارت الأصـــغر فى القدرة والأكبر فى كمية الإضـــاءة المكافئة، و قد تصـــبح وســيلة الإضـــاءة الأســـاســـية في المستقبل.

7-1-2 متطلبات لازمة لدراسة علم الإضاءة

قبل البدء فى دراســـة أعمال تصـــميمات الإنارة نشـــير إلى أن مهندس الكهرباء يحتاج إلى بعض العلوم المساعدة ليمكنه عمل تصميم مميز. فهو يحتاج إلى:

- ❖ دراسة طبيعة الضوء (مكوناته، أطيافه، حساسية العين له، خواصه (مثل الانعكاس Reflection، الانتشار Diffusion، إلخ)).
- ❖ دراســة الكميات الأســاســية المســتخدمة فى حســابات الإضــاءة (الفيض) Flux، شــدة الاســتضــاءة Illumination E، الزغللة Glare، إلخ) .
- ❖ دراســة الخواص الهامة لوحدات الإضــاءة (أمانة إظهار الألوان Color Rendering، درجة حرارة اللون، الكفاءة الضوئية، درجة النصوع Brightness، إلخ).

- ❖ دراسة حسابات الاستضاءة.
- ❖ دراسة أنواع المصابيح (التركيب، الخواص، الاستخدام، ظروف التشغيل، إلخ. (
- ❖ إضافة إلى متطلبات خاصة تظهر عند دراسة بعض التطبيقات على سبيل المثال عند تصميم إضاءة الشوارع فإنك تحتاج إلى دراسة المتطلبات العامة المرورية للتقاطعات و المنحنيات إلخ.

بعد التعرف على الحد الأدنى من هذه الدراسات فإن المهندس يصبح مؤهلا لدراسة خطوات التصميم التفصيلية (للإضاءة الداخلية أو للخارجية) وطرقه واعتباراته المختلفة. وبالطبع فلن نستطيع الخوض فى تفصيلات كل هذه الدراسات فى هذا الفصل لكننا سنكتفى بعرض أهم النقاط التى يحتاجها مهندس الكهرباء من كل دراسة من هذه الدراسات.

7-1-3 تركيب العين

عندما ننظر إلى جسم ما فإن ضوءًا منعكسًا من الجسم نفسه يدخل أعيننا وتتكون له صورة على الشبكية. والشبكيةٌ Retina هي طبقة رقيقة من الأنسجة تغطي مؤخرة وجوانب تجويف العين من الداخل، وتحتوي على ملايين الخلايا الحساسة للضوء. وتمتص هذه الخلايا معظم الضوء الذي يسقط على الشبكية، وتحوله إلى إشارات كهربية ثم تنتقل هذه الإشارات (الكهربية) إلى الدماغ بوساطة أعصاب تنقلها إليه.

وفى العين نوعان من خلايا الإبصار: الأولى هى المخروطية وهى المسئولة عن رؤية التفاصيل والألوان ويمكنها أن تتوائم مع الضوء خلال دقيقتين. أما الثانية فهى الخلايا الاسطوانية وهى المسئولة عن رؤية الأشياء السريعة و الجانبية و المظلمة وتحتاج إلى دقائق عديدة لتتوائم مع الضوء.

والعين لها حساسية مختلفة لكل لون من الألوان، فأقل حساسية هى الخاصة باللون الأزرق، وأعلى حساسية تكون لثلاثة ألوان : هى الأخضر والأحمر والأصفر، ولهذا فاستخدام هذه الألوان الثلاثة تحديدا فى إشارات المرور ليس عشوائيا. كما أن العين سريعة الإحساس باللون الأصفر، ولذا فهو يستخدم دائما للتحذير فى إشارات المرور وغمازات السيارة، فهو الأفضل والأسرع لتوصيل رسالة تحذير للسائقين. وأكثر الألوان راحة للعين هو اللون الأخضر، وقد اختاره الله ليصف به ثياب أهل الجنة فى القرآن الكريم :

" وَإِذَا رَأَيْتَ ثَمَّ رَأَيْتَ نَعِيماً وَمُلْكاً كَبِيراً (20) عَالِيهِمْ ثِيَابُ سُندُسٍ خُضْرٌ وَإِسْتَبْرَقٌ وَحُلُّوا أَسَاوِرَ مِنْ فِضَّةٍ وَسَقَاهُمْ رَبُّهُمْ شَرَاباً طَهُوراً (21) أن هَذَا كَانَ لَكُمْ جَزَاءً وَكَانَ سَعْيُكُمْ مَشْكُوراً (22) " سورة الإنسان.

ومن الألوان المريحة كذلك اللون الأخضر المصفر، ولذا استخدم في أسلاك التأريض. وعموما فالدراسة التفصيلية لخواص العين وتأثرها بالألوان لا غنى عنه لمصممى الإضاءة المحترفين.

2-7 الإضاءة الطبيعية

من المعلوم أن الشمس هى مصدر كل الطاقات تقريبا على ظهر الأرض، والضوء الطبيعي الواصل إلينا من الشمس عبارة عن طاقة إشعاعية على شكل موجات كهرومغناطيسية تنتقل إلينا من الشمس. والطيف الكهرومغناطيسي أو الأشعة الكهرومغناطيسية أو الأمواج الكهرومغناطيسية (كلها أسماء مترادفة) تشتمل على مجموعة متنوعة من الأشعة (الموجات) مثل الضوء المرئي، أو المايكروويف وأشعة اكس، وأشعة جاما وموجات التلفزيون والراديو (ليس معنى ذلك أن الشمس ترسل لنا إرسالا إذاعيا أو تلفزيونيا، وإنما سمى هذا المدى بهذا الاسم لأنه لما تم لاحقا توليد مثل هذه الموجات لكن بطرق صناعية استخدم هذا المدى في نقل موجات الراديو والتلفزيون فسمى باسمها)، وكلها عبارة عن إشعاعات كهرومغناطيسية Electromagnetic Radiation تتفق فى بعض الخصائص وتختلف فى البعض الآخر، فجميعها مثلا ينتشر بسرعة الضوء فى الفراغ:

$$\text{التردد} \times \text{الطول الموجي} = \text{سرعة الضوء} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

تجدر الإشارة إلى أن الأشعة الكهرومغناطيسية لها طاقة تعطى بالمعادلة

$$E = h \, x \, n \; .....7\text{-}1$$

حيث

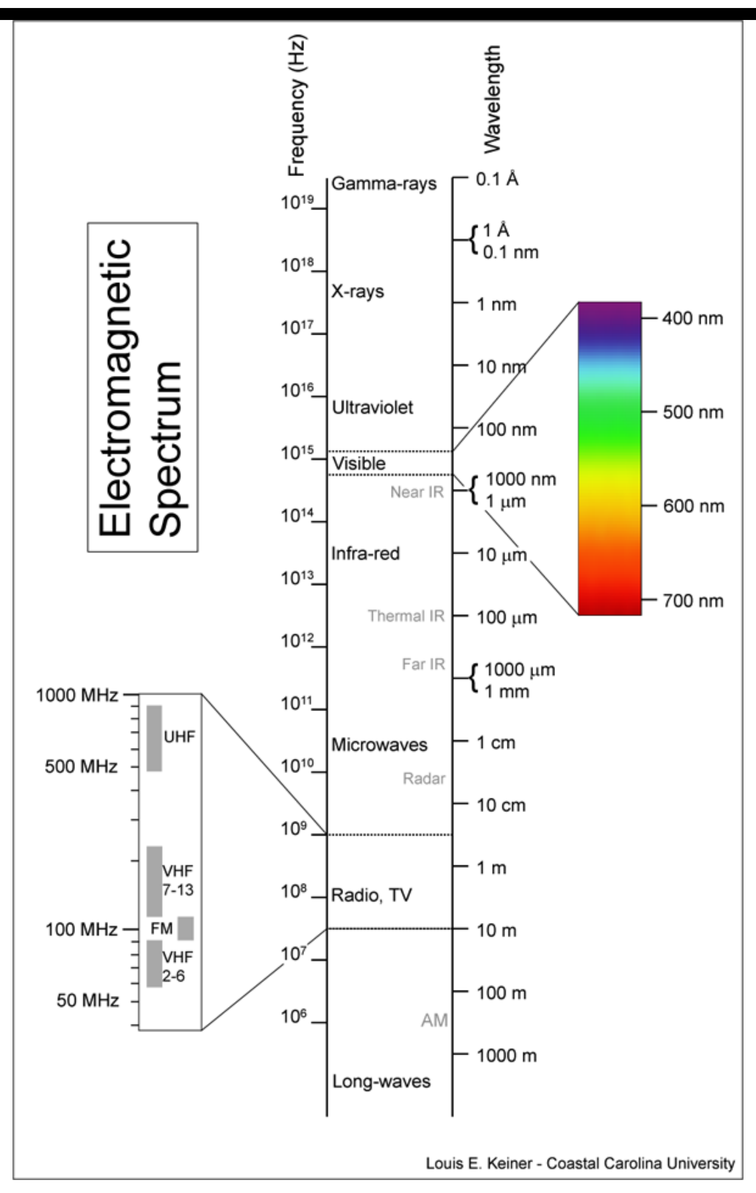
- h هو ثابت بلانك ($h = 6.6 \times 10^{-34}$) ويقاس بـ J.s
- n هو التردد

والموجات الكهرومغناطيسية تتميز عن غيرها من الموجات بأنها لا تحتاج لوسط مادى لتنتقل خلاله مثل موجات الصوت مثلا التى لا تنتقل أبدا فى الفراغ. ولكنها تختلف فيما بينها فى عدد من الخصائص، فهى مثلا تختلف في الطول الموجيWavelength أو التردد Frequency. ولبعض هذه الموجات أثر حرارى (تحت الحمراء)، وللبعض الآخر أثر كيماوى (إكس)، أو أثر كاوى (فوق البنفسجية)، وهكذا.

والأشــعة الأكثر خطورة فهي أشــعة جاما، حيث لها طولا موجيا قصــير، أي أن لها تردد أعلى، ما يعني طاقة أعلى وقدرة أكبر على اختراق الأجســام. ويمكن لها النفاذ إلى كل أنواع الأجســام تقريبا، ولا يمكن اعتراض طريقها إلا باستخدام ألواح سميكة من الرصاص. وهي تقتل كل ما تخترقه من خلايا حية، نتيجة الطاقة الكبيرة التي تحملها والتي تتحول إلى طاقة حرارية داخل الخلايا الحية، وتؤدي بدورها إلى تأيين هذه الخلايا، أي تغيير خواصها البيولوجية والكيميائية.

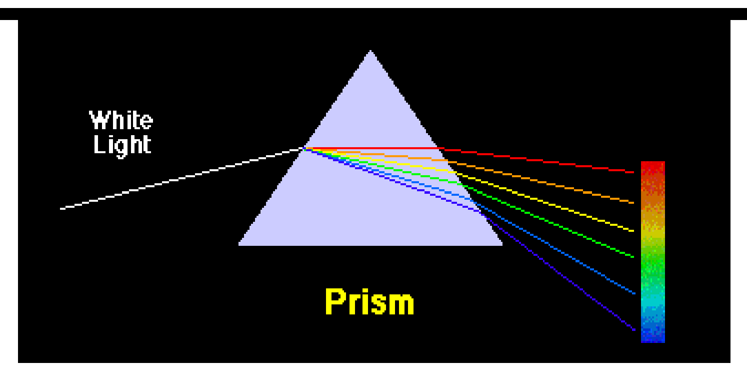
والضـوء المرئي ينتشـر في الفراغ كما ذكرنا بسرعة ثابتة قدرها 3×10^8 m/s، ويتردد محدد بين 7.5×10^{14} و 4×10^{14} هرتز أي أن أطوال تلك الموجات تتراوح بين 750 نانو متر (الضوء الأحمر) و400 نانومتر (الضـوء البنفسـجي) في مجال الطيف المرئى الكهرمغنطيسـي Electromagnetic Spectrum الذي يتألف من الألوان : البنفسجي فالأزرق فالنيلي فالأخضر فالأصفر فالبرتقالي فالأحمر كما هو واضح فى الشكل 7-1.

ونحن نرى هذا الطيف على شـكل ألوان متميزة كالتي تظهر في السـماء بعد سـقوط المطر وتعرف بقوس قزح Rainbow. ومنطقة الضوء المرئي تقع فى مجال الأشعة التى تستجيب لها شبكية العين و لذا نتمكن من رؤية الأشياء من حولنا، بينما لا تستجيب العين لأى أشعة أخرى (ولذا تسمى باقى الموجات بالأشعة غير مرئية) مثل الأشـعة فوق البنفسـجية أو الأشـعة تحت الحمراء. وفى كل الأحوال فلا يمكن كشـف هذه الإشـعاعات إلا بوسـائل خاصـة مثل اسـتخدام الأشـعة تحت الحمراء فى أجهزة الرؤية الليلية والتى تعتمد فكرتها على استقبال الإشعاع الحراري المنطلق من الأجسام.



شكل 7-1

ولكل لون من الألوان الموجودة فى مجال الطيف المرئي طول موجي خاص، فاللون الأحمر لـه أطول طول موجي في الطيف المرئي بينما اللون البنفسجى أقصر الأطوال الموجية. واجتماع هذه الألوان مع بعضها البعض يعطي اللون الأبيض. ولتحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف نستخدم منشور كما في الشكل 7-2 حيث ينحرف (ينكسر) كل لون بزاوية خاصة حسب طوله الموجي.



شكل 7-2

وعملية الإبصــار تعتمد على انعكاس هذا الطيف الكهرومغناطيســي من الأجســام وسـقوطها على العين، فالجسم الأحمر يعكس اللون الأحمر ويمتص باقي الألوان ولذلك نراه أحمرا، والجسم الأخضر يعكس اللون الأخضر لذا نراه أخضرا، وهكذا بالنسبة لبقية الألوان. وتتكون الصورة المرئية بتجميع هذه الانعكاسات على شبكية العين فنرى الألوان البديعة للمخلوقات، "فتبارك الله أحسن الخالقين".



7-2-1 أنواع الإضاءة الطبيعية

الإضاءة الطبيعية قد تكون: إما مباشرة Direct وذلك حين يكون ضوء الشمس موجه مباشرة بدون غيوم كما فى الصورة اليمنى في الشكل 7-3، وقد تكون إضاءة الشمس غير مباشرة Diffused كما فى الصورة اليسرى وذلك إذا سقط الضوء من خلال الغيوم.



الإضاءة المباشرة



الإضاءة الغير المباشرة

شكل 7-3

ولكل نوع من النوعين السابقين ميزات وعيوب. فمن سمات الإضاءة المباشرة :

- الظلال قوية
- الإنارة غير متجانسة فهناك فرق بين مستويات الإنارة بين الظل و الضوء
- وهج الشمس glare عالي
- تجسيم جيد للأجسام ثلاثية الأبعاد 3D modeling

أما في الحالة الثانية (ضوء منتشر) يلاحظ أن

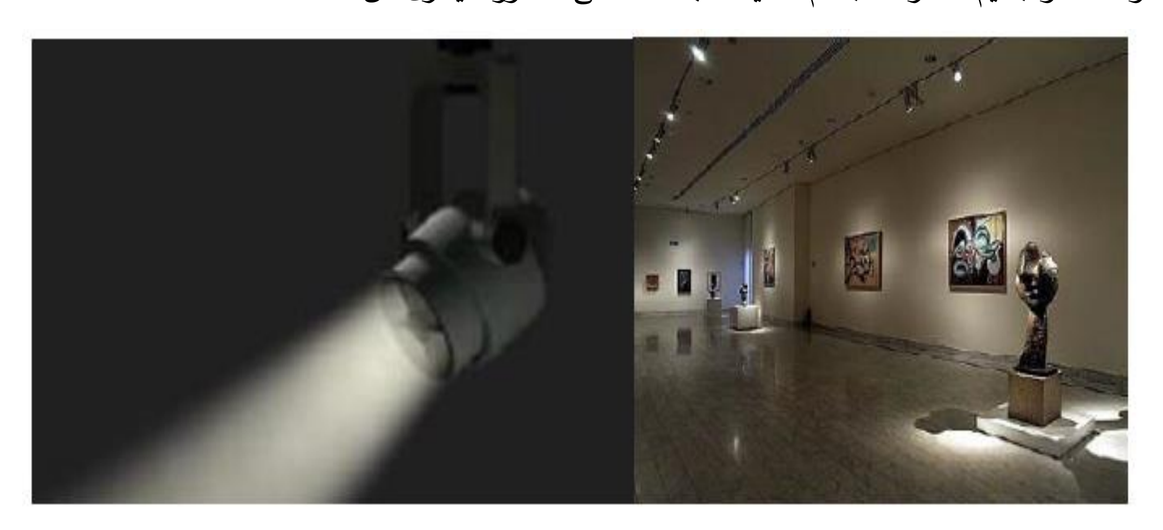
- الإنارة متجانسة
- لا يوجد ظلال
- لا يوجد وهج للشمس (لا نحتاج إلى نظارات شمسية أو حاجب للوهج)
- لا يوجد تجسيم للأجسام ثلاثية الأبعاد.

7-3 الإضاءة الصناعية

وحيث أن المجال الكهربى يمكن أن ينشـــئ نفس هذه الموجات الكهرومغناطيســـية التى نتحدث عنها، وبالتالى يمكننا أن ننشئ ضوءا صناعيا يشبه الضوء الطبيعي. فالمجال الكهربي الذي ينشأ من تذبذب الجسيمات المشحونة داخل ذرات بعض العناصر نتيجة مرور تيار كهربى فيها يؤدي إلى انبعاث طيف كهرومغناطيســي. ويعتمد الطول الموجي للأشــعة الكهرومغناطيســية المنبعثة على درجة إثارة الشــحنة، ونوعية المادة المار فيها التيار، وبالتالي تنشأ صناعيا موجات في نفس مدى الضوء المرئي، ومن الممكن أن يتغير لون المصباح الكهربى حسب نوع المادة المستخدمة فى تصنيعه كما سنرى لاحقا. و نشير هنا إلى مبدأ هام جدا وهو أنه **عند قياس كفاءة وجودة أى مصباح صناعى ستتم مقارنة الطيف الصادر منه بالطيف المرئى للشمس.**

وفى حالة الإضاءة الصناعية فلدينا نفس النوعين من الإضاءة : المباشرة والمنتشرة.

ففى حالة الحاجة لضوء مباشر موجه فقد تم استخدام أجهزة إنارة ذات حزمة ضيقة و مباشرة لتحقيق ذلك كما فى الصورة اليمنى من شكل 7-4. ونلاحظ نفس السمات السابقة وهى أن الضوء غير متجانس والظلال واضحة وتجسيم ممتاز للأجسام ثلاثية الأبعاد كما فى الصورة اليسرى من شكل 7-4.



شكل 7-4

أما فى حالة الحاجة لإضاءة غير مباشرة فقد تم استخدام أجهزة لنشر الضوء كما فى الصورة اليسرى من شكل 7-5. ونلاحظ هنا أن الضوء متجانس و بدون ظلال كما فى حالة الإضاءة الطبيعية المنتشرة حيث تكاد تكون الظلال معدومة.



شكل 7-5

ومن أهم تطبيقات الإضاءة المباشرة استخدامها فى المتاحف والمعارض ومحلات المجوهرات والأدوات الثمينة والممرات في الفنادق والمطاعم، وذلك عندما يكون تجسيم، وإظهار للشكل الثلاثي الإبعاد.

أما تطبيقات الإضاءة غير المباشرة فإنها تستخدم فى المكاتب وغرف الاجتماعات وغرف المرضى و الممرات و المستشفيات والصفوف بالمدارس وصالونات الحلاقة وغرف المكياج وذلك عندما يكون هنالك حاجة لإظهار وجوه الناس[2].

7-4 كميات ووحدات الإضاءة الأساسية

وقبل الدخول فى حسابات تفصيلية لتصميمات الإضاءة يجب على القارئ أن يكون ملما ببعض الكميات المستخدمة كثيرا فى حسابات الإضاءة، ومنها:

[2] ينصح بالرجوع للكتاب القيم : تصميم الإنارة العربي للمهندس عزت البارودى وهو كتاب مميز و قد استفدت منه كثيرا

7-4 -1 الفيض الضوئى Luminous Flux

ويرمز له بالرمز φ أو بالرمز (F)، ويعبر عن حساسية العين للقدرة الضوئية الناتجة من الإشعاع، ويعرف بأنه الكمية الكلية للضوء المنبعث فى الثانية من مصدر ضوئى، ويقاس الفيض الضوئى بوحدة تسمى ليومن (Lumen) ويرمز لها بالرمز (Lm).

وتختلف كمية الفيض المنبعث من المصابيح حسب نوعها وقدرتها، فالمصباح التنجستن بقدرة 100 وات ينتج حوالى 1500 ليومن فى حين أن اللمبة الفلورسنت بقدرة 40 وات تنتج حوالى 2800 ليومن، أما مصباح الزئبق قدرة 100 وات فينتج حوالى 4000 ليومن، ولمبة الـ LED قدرة أفضل منهم جميعا كما هو واضح في جدول المقارنة التالى.

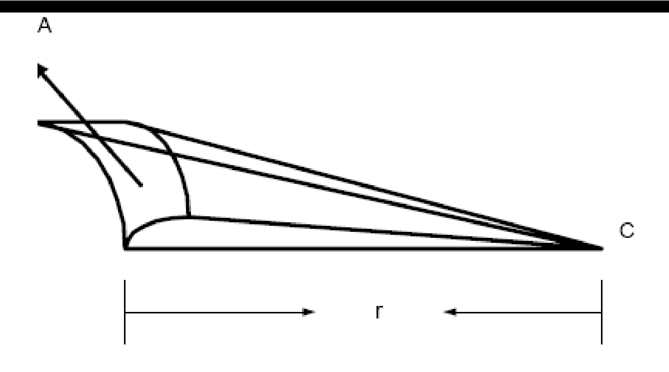
LUMENS	INCANDESCENT	LED
2600 lm	150 W	25-28 W
1600 lm	100 W	16-20 W
1100 lm	75 W	9-13 W
800 lm	60 W	8-12 W
450 lm	40 W	6-9 W

7-4 -2 شدة الإضاءة (Luminous Intensity)

ويرمز لها بالرمز (I) و يعبر عن قدرة المصدر الضوئى على انبعاث الفيض الضوئى Φ فى اتجاه محدد وتقاس بوحدة تسمى الشمعة أو Candela، ويرمز لها بـ (cd)، أو تقاس بوحدة الـ (candle power) ويرمز لها بالرمز (cp). وتمثل بالمعادلة التالية:

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad Lm/Sr ....7-2$$

حيث ω هى الزاوية المجسمة أو الزاوية الفراغية (Solid Angle) المقابلة لمساحة السطح المضاء A وتقاس بوحدة الـ(Sr) Steradian ، وتظهر فى الشكل 7-6، وتعرف بأنها الزاوية عند المركز المقابلة لجزء من سطح كرة (هذا الجزء له مساحة تساوى مربع نصف القطر)، أى ω =1 عندما تكون $A = r^2$.



شكل 7-6 : الزاوية الفراغية

7-4-3 شدة الاستضاءة (Illumination)

ويرمز لها بالرمز E، وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئى (Lm) الساقطة عموديا على وحدة المساحة A من هذا السطح، وتمثل بالمعادلة التالية :

$$E = \frac{\phi}{A} \quad lux............................7-3$$

ملحوظة هامة:

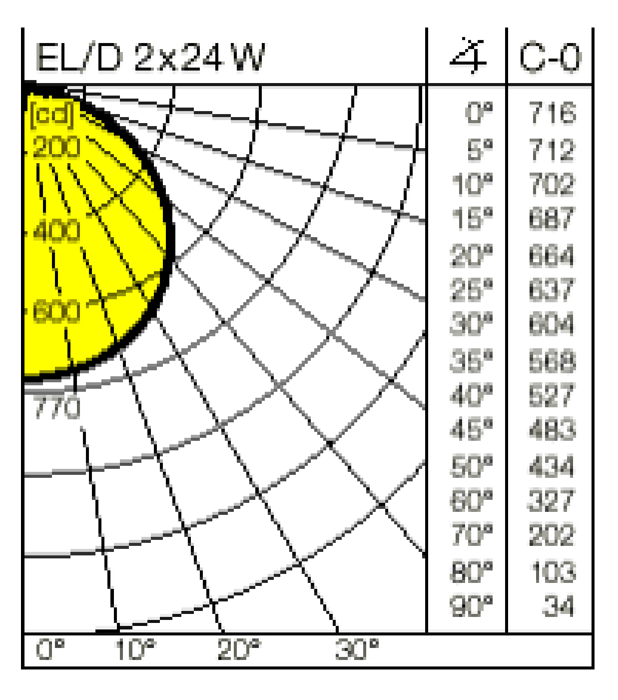
تجاوزا، يمكن أن يطلق على الـ I وكذلك على E مصطلح شدة الإضاءة، لكن لابد من التفريق بينهما بالوحدات فإذا قيل مثلا أن مصباح له شدة إضاءة 20 cd فبالتأكيد نقصد الـ Luminous Intensity (I)، أما إذا قيل أن شدة الإضاءة مثلا تساوى 20 Lux فبالطبع نقصد الـ Illumination (E)، لذا وجب الانتباه لأن العديد من المراجع ربما تستخدم نفس الترجمة العربية للمتغيرين، فكلاهما يعتمد على الفيض، لكن الفيض منسوبا للزاوية الفراغية فى حالة حساب الـ I، ومنسوبا لمساحة السطح فى حالة حساب الـ E. وللتمييز فنحن نستخدم هنا مصطلح شدة الاستضاءة لـ E، و شدة الإضاءة لـ I.

7-4-4 المنحنيات القطبية Polar Curves

وتسمى أيضا بمنحنيات توزيع شدة الإضاءة Luminous Intensity، فمن المعلوم أن الضوء الصادر من مصدر ضوئي لا يتوزع – فى الغالب – بدرجة متساوية في جميع الاتجاهات، وإنما تتغير شدته من زاوية لأخرى، فقد يكون قويا تحت المصباح مباشرة، وأقل قوة فى اتجاه آخر، بمعنى أن شدة الإضاءة تختلف باختلاف الزاوية الفراغية. والمنحنى الذى يعطى شكل تغير شدة الإضاءة من زاوية لأخرى بالنسبة لمصباح معين يسمى Polar Curve، والشكل 7-7 يمثل نموذجا لهذا المنحنى. ومن المنحنى فى هذا الشكل

السابق نجد أن شدة إضاءة هذا المصباح مثلا عند الزاوية 20° مع الرأسى لأسفل تساوى 664 كنديلا، بينما شدة الإضاءة مباشرة تحت المصباح تبلغ 716 كنديلا. ويمكن التحكم فى شكل المنحنيات القطبية للمصابيح بإضافة عواكس Reflectors لها أشكال متنوعة.

وتحسب شدة الإضاءة لمصدر ما على أنها القيمة المتوسطة لقيم شدة الإضاءة (الكنديلا) فى جميع الاتجاهات، وتعرف أيضا بأنها متوسط قدرة شمعة كروية (Mean Spherical Candle Power) ويرمز لها بالرمز MSCP.



شكل 7-7 : منحنى توزيع شدة الاستضاءة

7-4-5 النصوع (Brightness)

وهو نوعان :

- نصوع المصدر الضوئى، ويرمز له بالرمز L ويقاس باللامبرت.
- نصوع الجسم اللامع الذى سقط عليه الضوء، ويرمز له بالرمز B ويقاس باللكس Lux.

ويعرف نصوع المصدر الضوئى بأنه النسبة بين شدة الإضاءة والمساحة الظاهرية للمصدر الضوئى، ويتم التعبير عن النصوع بالمعادلة التالية

$$L = \frac{I}{S} \quad Cp/cm^2 ....7-4$$

حيث S هى المساحة الظاهرية لمصدر الضوء، ويقاس النصوع بوحدة تسمى Lambert. واللامبرت الواحد يعادل شمعة واحدة في السنتمتر المربع. والجدول 7-1 يبرز مقارنة بين نصوع بعض المصادر الضوئية.

أما نصوع الجسم اللامع (ويرمز إليه بالرمز B) فيقاس باللكس ويحسب من المعادلة :

نصوع الجسم = شدة الاستضاءة عليه x انعكاسية السطح اللامع

$$B = E\,(Lux)\;x\;Reflectance.....7-5$$

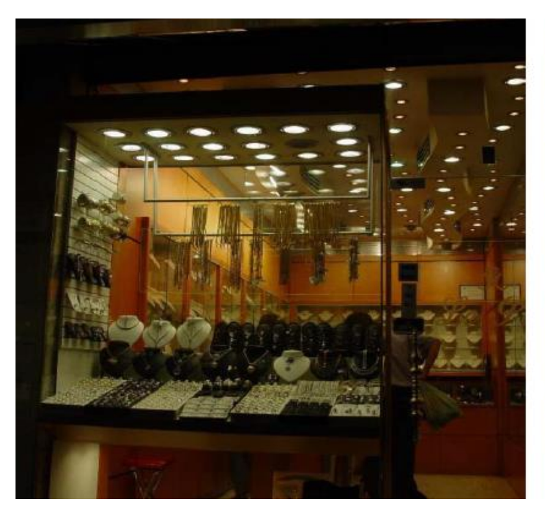
وعامل الانعكاس Reflectance فى المعادلة السابقة هو قابلية سطح ما لعكس الضوء الساقط عليه ليراه الناظر، فالسطح الأبيض يعكس الضوء بنسبة 100%، في حين لا يزيد عامل الانعكاس للسطح الأسود على 2%، ويبلغ عامل الانعكاس للسطح الرمادي نحو 40% من الضوء الساقط عليه. فإذا كانت الاستضاءة 10 لكس وكان عامل انعكاس السطح للضوء 50% فإن نصوع هذا السطح تعادل 5 لكس.

جدول 7-1 : نصوع بعض المصادر الهامة

المصدر	النصوع (Lambert)
الشمس	10^9
مصباح بخر الزئبق	10^8
السماء	10^5
فلورسنت	10^3
اضاءة منزل	10^1

7-4-6 الزغللة (البهر) Glare

تحدث الزغللة عند النظر إلى مصدر ضوئى بشرط أن تكون قيمة النصوع لهذا المصدر أعلى من 1.5 لمبرت، واضح من قيم الجدول السابق أن نصوع الشمس له قيمة هائلة ولذا لا يستطيع أحد النظر طويلا إليها وإلا أصابه البهر أو الزغللة. وأحيانا يلجأ البعض للفت الانتباه إلى محلاتهم مثلا بوضع لمبات شديدة النصوع و بزوايا خاطئة تجعل من ينظر للمحل يحول بصره مباشرة بعيدا عنه لتفادى الزغللة التى تصدر من اللمبة، وبالتالى فالتصميم الخاطئ لمنظومة الإضاءة يمكن أن تتسبب فى عكس المطلوب منها، فبدلا من جذب نظر العميل فإنها تنفره وتجعله يحول نظره عن المكان (شكل 7-8).





شكل 7-8

7-5 الخواص الضوئية لوحدات الإنارة

الإضــاءة الطبيعية هي التي تأتي من مصــادر ضــوء طبيعية، وهي الإضــاءة الأكثر ملائمة فيسـيولوجياً للإنســان، غير أنها تتبدل وتختلف باختلاف الوقت وفصــول الســنة، والموقع، وحالة الطقس، وغير ذلك، وتراوح درجة الإضـاءة الطبيعية الواقعة على السطوح الأفقية في الأماكن المكشوفة عادة بين «0.0005» لكس في الليلة المظلمة (غير القمرية)، و«0.3» لكس في الليلة القمراء التامة البدر، و«100000» لكس

تقريباً تحت أشـعة الشـمس المباشـرة. و عند تقييم أو تصـنيف إحدى وحدات الإنارة الصـناعية فإننا نقيمها مقارنة بالمصدر الطبيعي من خلال عدة سمات، منها :

7-5-1 أمانة إظهار (نقل) اللون

من المعلوم أن ضـــوء أى مصـــباح هو فى الحقيقة مكونا من مجموعة من الألوان متراكبة معا كما ذكرنا لتكون لون نور المصباح، فإذا كان الضوء الساقط من المصباح يحتوى على لون الجسم فعندها فقط يظهر الجسـم بلونه الطبيعي، وفيما عدا ذلك فإن إضـاءة المصـباح سـتغير من لون الجسـم الحقيقى، ولذا فلون الجسـم الحقيقى لن يظهر بدقة سـوى فى ضـوء النهار لأنه الوحيد الذى يحتوى على كافة الألوان بالنسـب النموذجية، أما الأضـواء الصـناعية فستتوقف كفاءة إظهارها للألوان الحقيقية على مدى قربها أو بعدها من مستوى ضوء النهار.

كما أن درجة امتصـاص الأجسـام للألوان يؤثر بدرجة كبيرة على ظهوره بلونه الطبيعي، فعند سـقوط ضـوء ما علي جسـم أبيض مثلا فإنه يعكس الألوان الأولية كلها بنفس نسـبتها، أما الأجسـام ذات الألوان الأخرى فإنها سـتمتص لونا معينا أو أكثر من مجموعة الألوان التى يتركب منها الضـوء السـاقط، وبالتالى فسـيتغير لون الجسم المضاء. ومن هنا، فإننا يمكن أن نقول أن أى مصباح كهربى سيكون أقرب ما يمكن من ضوء النهار إذا انبعث منه طيف ضوئي يحتوى على الألوان الثلاثة الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق) بنفس نسبة وجودها فى ضوء النهار، وكلما اختلت

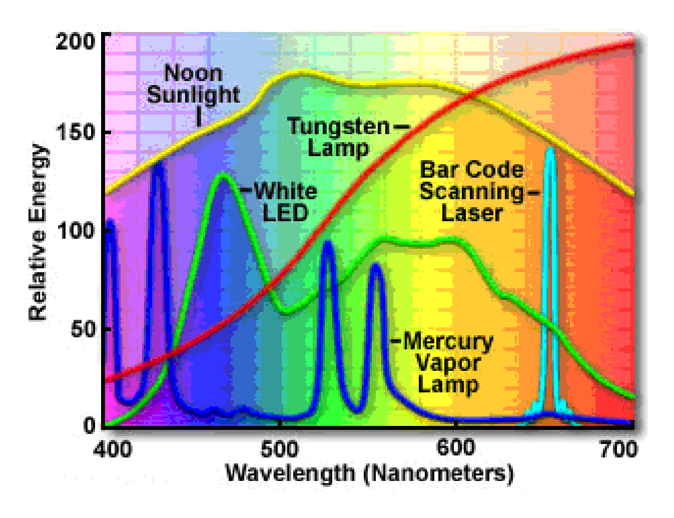
هذه النسبة كلما بعد المصباح عن نقل اللون بأمانة (شكل 7-9).

وهذه العلاقات يعبر عنها بمصطلح هام هو : " أمانة نقل الألوان " CRI، أو ما يسمى بالـــــــ Index Color Rendering، وهو عبارة عن رقم من صـــفر إلى 100، فكلما اقترب CRI للمبة معينة من الرقم 100 كلما دل ذلك على ارتفاع كفاءة المصباح فى إظهار اللون على حقيقته.



شكل 7-9

ومعظم الشركات المنتجة للمصابيح تصدر ضمن كتالوجاتها صورة للتحليل الطيفى لضوء مصابيحها، كما فى الشكل 7-10 الذى يظهر التحليل الطيفى لأكثر من مصباح مقارنة بضوء الظهيرة Noon Sunlight. ومن هذه المقارنة تستطيع أن نحدد جودة إضاءة المصابيح المختلفة و أمانتها في إظهار الألوان.



شكل 7-10 : التحليل الطيفي لبعض المصابيح

7-5-2 مظهر اللون

ويصنف ضوء المصباح أيضا حسب مظهر لونه إلى ثلاث فئات:

- بارد (أزرق).

- متوسط (أخضر).
- دافئ (أحمر).

وهذه التصـنيفات يجب أن يراعيها المصـمم خصـوصـا فى الإضـاءات الديكورية، حيث يجب عليه اختيار الضوء المناسب فى المكان المناسب، على سبيل المثال فمظهر المصباح المناسب لغرف النوم هو اللون الدافئ مثلا، بينما تناسب الألوان الباردة إضاءة المكاتب، وهكذا.

7-5-3 درجة حرارة اللون(Color temperature)

من المعلوم أن الجسم الأسود يتغير لونه بارتفاع درجة حرارته، حيث يبدأ فى التوهج باللون الأحمر الداكن ثم مع ارتفاع درجة حرارته يتحول إلى الأحمر فالبرتقالى ثم الأصفر فالأبيض المزرق، ويمكن بهذه الطريقة وصف أى لون صادر من مصباح بدرجة الحرارة التى سخن إليها ذلك الجسم الأسود. ولذا تقوم الشركات بتعريف لون المصباح بدرجة حرارة جسم أسود يسخن إلى درجة حرارة معينة فيشع نفس هذا اللون، فالضوء الصادر من مصباح فلورسنت يشبه الضوء الناتج من تسخين جسم أسود إلى 3500 كلفن (درجة حرارة كلفن = الدرجة المئوية + 273). لاحظ أن درجة حرارة لون Day Light Lamp تساوى 6500 كلفن وهى درجة حرارة سطح الشمس. وأبرز درجات حرارة الألوان تظهر فى الجدول 7-2.

جدول 7-2 : درجة حرارة ألوان بعض مصادر الإضاءة

المصدر الضوئى	درجة الحرارة
لهب عود كبريت	1700 K
لهب شمعة	1850 K
لمبة تنجستن	2800–3300 K
لمبات الإضاءة الغامرة	3400 K
لهب لمبات اللحام	4100 K
لمبات ضوء النهار	5500–6000 K
شاشة CRT	9300 K

ولسنا بحاجة للتأكيد على أن هذه الأرقام لا تعنى مطلقا درجة حرارة المصباح عند لمسه باليد، بل هى تعبير رمزى عن اللون فقط، ولا وجود لهذه الدرجات فزيائيا على سطح المصباح.

ويمكن التعرف على درجة أمانة اللون بقراءة بيانات المصباح كما في الشكل 7-11، فهذا المصباح 18 وات. لكن ماذا يعنى الرقم 840؟ إذا ضربت الرقم الأول من اليسار في 10 ستحصل على أمانة نقل الألوان (80 في هذا المثال) واذا ضربت الرقمين الثاني والثالث معا من اليسار في 100 ستحصل على درجة حرارة المصباح (4000 كلفن في هذا المثال)



شكل 7-11

7-5-4 الكفاءة الضوئية

ويستخدم هذا المصطلح للتعبير عن حجم الفيض الصادر من المصدر لكل وات من قدرة المصدر. ولذا فعند شرائك مصباحا من السوق يجب عليك **قبل** أن تنظر للسعر أن تنظر إلى الرقم المعبر عن هذا السؤال : **كم ليومن لكل وات؟** فربما يكون لمصباحين نفس القدرة لكنهما يختلفان فى كمية الفيض الصادر منهما، وعندها ربما تختار الأعلى سعرا لأنه الأعلى فى الكفاءة الضوئية. (ملحوظة : أعلى كفاءة ضوئية نظرية لأى مصباح - بفرض انعدام المفقودات - هى 680 ليومن لكل وات) . و من ثم فكلما اقتربت الكفاءة الضوئية من هذا الرقم كلما كان المصباح أقرب للمثالية.

7-6 حسابات شدة الاستضاءة (Illumination)

ونشير مرة أخرى إلى أن البعض قد يسميها حسابات "شدة الاستضاءة" أو حسابات " شدة الإضاءة " و أن كنا سنلتزم بمصطلح شدة الاستضاءة عند الحديث عن E لنميزها عن شدة الإضاءة التي نقصد بها الـ I. المهم أننا نقصد هنا الكمية التى يرمز لها بالرمز E، وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئى (Lm) الساقطة عموديا على وحدة المساحة A من هذا السطح، وتمثل بالمعادلة التالية :

$$E = \frac{\phi}{A} \quad lux \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-6$$

و وحدة قياس الاستضاءة هى Lux وتساوى Lm/m^2 في المقاييس المترية، وهو وحدة قياس تكافئ الضوء المباشر الساقط على سطح يبعد متراً واحداً عن مصدر ضوئي نقطي Point Source يعادل شمعة

واحدة، وهو يساوي أيضا ليومناً واحداً في المتر المربع. وتقاس شدة الاستضاءة E في الولايات المتحدة الأمريكية باللومن/قدم^2، أو شمعة/قدم^2، وهى تساوى كمية الضوء الصادرة عن شمعة واحدة وساقط على سطح مساحته قدم مربعة واحدة على مسافة قدم واحدة (30سم). أي أن اللومن/قدم^2 يعادل 10.76 لكس (للتقريب نعتبرها تساوى 10 لكس). ويقدر ضياء ضوء النهار المباشر من سماء تغطيها غيوم بيضاء ناصعة بنحو 10، 000 لكس أي 1000 لومن/قدم^2 تقريباً.

7-6-1 قانون التربيع العكسى

ويمكن كتابة معادلة شدة الاستضاءة E بصورة أخرى كالتالى:

$$\because E = \frac{\phi}{A} \quad and\ A = \omega R^2 \ldots\ldots\ldots\ldots 7-7$$

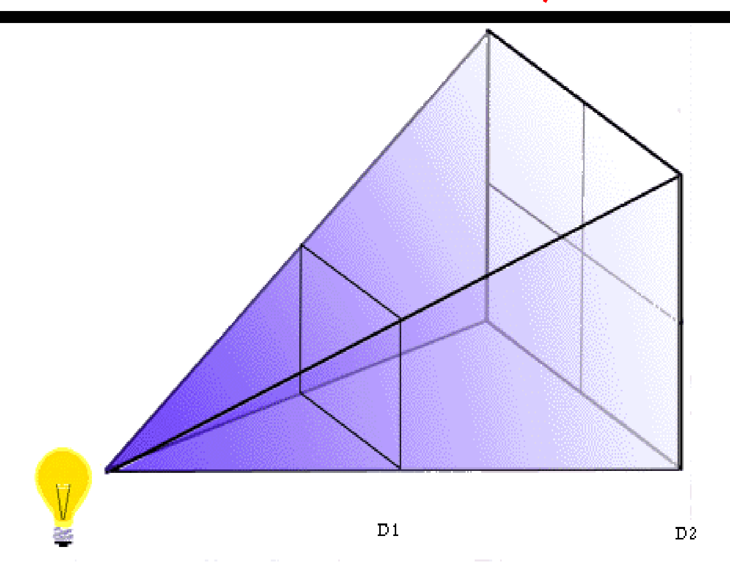
$$\because I = \frac{\phi}{\omega} \quad cd \ldots\ldots\ldots\ldots 7-8$$

$$\therefore E = \frac{\phi}{\omega R^2} = \frac{I}{R^2} \quad lux \ldots\ldots\ldots\ldots 7-9$$

ويسمى القانون الأخير بقانون التربيع العكسى inverse square law، حيث يتضح منه أن شدة الاستضاءة على سطح عمودى على اتجاه الضوء تتناسب عكسيا مع مربع المسافة (R^2) بين المنبع والسطح، وبالطبع تتناسب طرديا مع شدة إضاءة المصدر (I) . والشكل 7-12 يبرز هذه الحقيقة كما هو ظاهر من مستوى شدة الاستضاءة على المستويات المختلفة. ومن الواضح من الشكل أنه كلما ابتعدنا عن المصدر ضعفت شدة الاستضاءة.

$$E_1 = \frac{I}{D_1^2}$$

$$E_2 = \frac{I}{D_2^2}$$



شكل 7-12 : توضيح لقانون التربيع العكسي

ويلاحظ أن قانون التربيع العكسى قد استنتج على أساس أن منبع الضوء مركز عند نقطة Point Source، ولكن الضوء يسقط بزوايا ميل مختلفة على الأسطح المراد إضاءتها كما فى الشكل 7-13، فعندها تكون المعادلة العامة لحساب شدة الاستضاءة E عند نقطة B مثلا هى :

$$E_B = \frac{I\cos\theta_1}{d_1^{\ 2}} \quad \text{.........................} 7-10$$

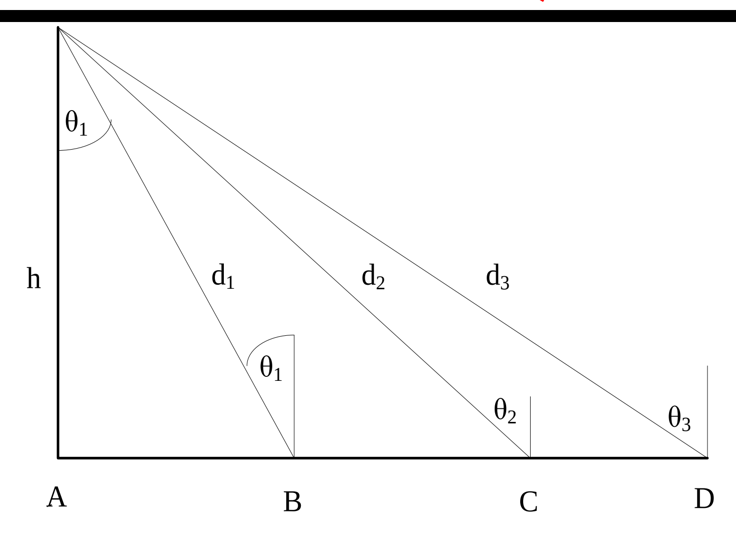
حيث

d_1 هى المسافة المباشرة من المصدر إلى النقطة B.

E شدة الاستضاءة عند نقطة B

h هو ارتفاع المصدر

لاحظ مرة أخرى أن شدة الاستضاءة تتناسب عكسيا مع مربع المسافة.



شكل 7-13 : حساب شدة الاستضاءة عند نقاط متعددة

ويمكن إعادة صياغة المعادلة السابقة لتصبح على صورة

$$E_B = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta_1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7-11$$

وبالمثل يمكن حساب شدة الاستضاءة E عند النقطة C أو D كما يلى:

$$E_C = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta_2$$

$$E_D = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta_3$$

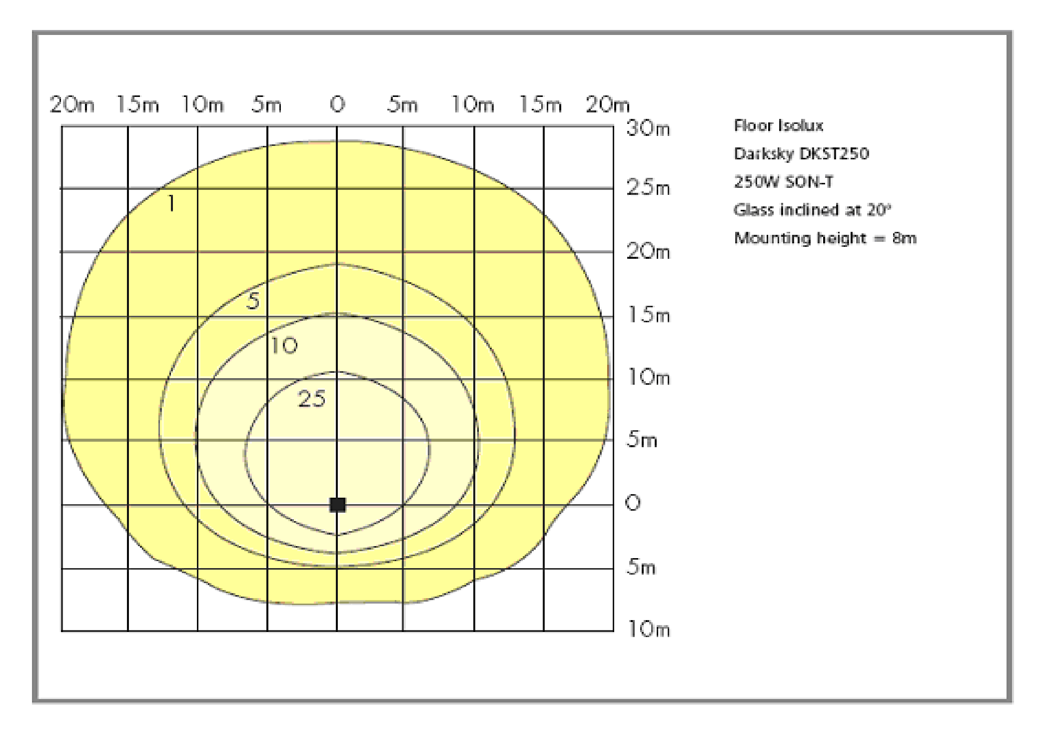
مع ملاحظة أن جميع هذه النقاط (A، B، C، D) تقع فى مستوى أفقي واحد. ويسمى هذا القانون بقانون Lambert Cosine Law.

وتسمى هذه الطريقة للحسابات بطريقة Point by Point، أو الحساب نقطة بنقطة، وغالبا توضع هذه القيم على منحنيات تسمى Iso-Lux Diagram كما تظهر فى الشكل 7-14 الذى يبين توزيع شدة الاستضاءة على أرضية غرفة نتيجة مصباح واحد قدرته 250 وات، موضوع على ارتفاع قدره 8 متر.

وبالطبع يصعب حساب كافة النقاط يدويا، ولاسيما إذا وجد أكثر من مصباح بالغرفة، حيث ستتوقف قيمة شدة الاستضاءة عند نقطة ما على بعد النقطة عن مصادر الإضاءة، وهذا يستلزم دراسة توزيع الضوء من كل منبع على حدة عن طريق المنحنيات القطبية، وهذه عملية معقدة جدا، ولذا يستخدم الحاسوب للقيام بهذه العملية بسهولة. ولكن يمكن استخدام هذه الطريقة إذا كان عدد المصابيح المؤثرة محدودا كما فى

حسابات إضاءة الشوارع والتى سنتعرض لها لاحقا. لاحظ أن البرامج الخاصة بالحسابات تعطى نتائج صحيحة فقط بشرط استخدام اللمبات من إنتاج الشركة المصممة للبرنامج.

والواقع أن معظم المصممين يعتمدون على طريقة أسهل فى التصميم وهى طريقة الليومن التى سنعرضها لاحقا.



شكل 7-14 : نموذج لمنحنيات Iso-Lux.

لاحظ أن شدة الاستضاءة الكلية عند أى نقطة E_P تعطي من مجموع الاستضاءات من كافة المصادر الضوئية N القريبة من هذه النقطة، بمعنى أن

$$E_P = \sum_N \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta \ldots\ldots\ldots\ldots 7-12$$

لاحظ أننا فرضنا I ثابتة فى جميع الاتجاهات، وهذا الفرض قد يتغير مع تغير نوعية اللمبة ومنحنى الـــ Polar Curve الخاص بها.

7-6-2 تطبيقات على قانون التربيع العكسى

مثال 7-1

يراد إضاءة ممر بأربعة مصابيح كما فى الشكل 7-15، يبعد كل واحد عن الآخر 10 m، وموضوعة على ارتفاع 5 m من سطح الأرض، فإذا كانت شدة الإضاءة للمصباح 200cd فى جميع الاتجاهات. أوجد الاستضاءة عند منتصف المسافة بين المصباحين الثاني والثالث.

الحل

لحل هذه المسألة نوجد الاستضاءة بتأثير المصباح الأول و الثاني أولا، وحيث أنه يوجد تماثل بينهما وبين الثالث والرابع فإن شدة الاستضاءة الكلية نحصل عليها بالضرب فى 2.

أولا شدة الاستضاءة نتيجة المصباح L1

$$E_{L1} = \frac{I\cos^3\theta_1}{h^2}$$

ويمكن من المبادئ البسيطة لحساب المثلثات أن نحسب قيم الزاوية θ_1 كما يلى

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{15}{5} = 71.5°$$

ومنها نستنتج قيمة $\cos\theta_1 = 0.316$

وبالتعويض

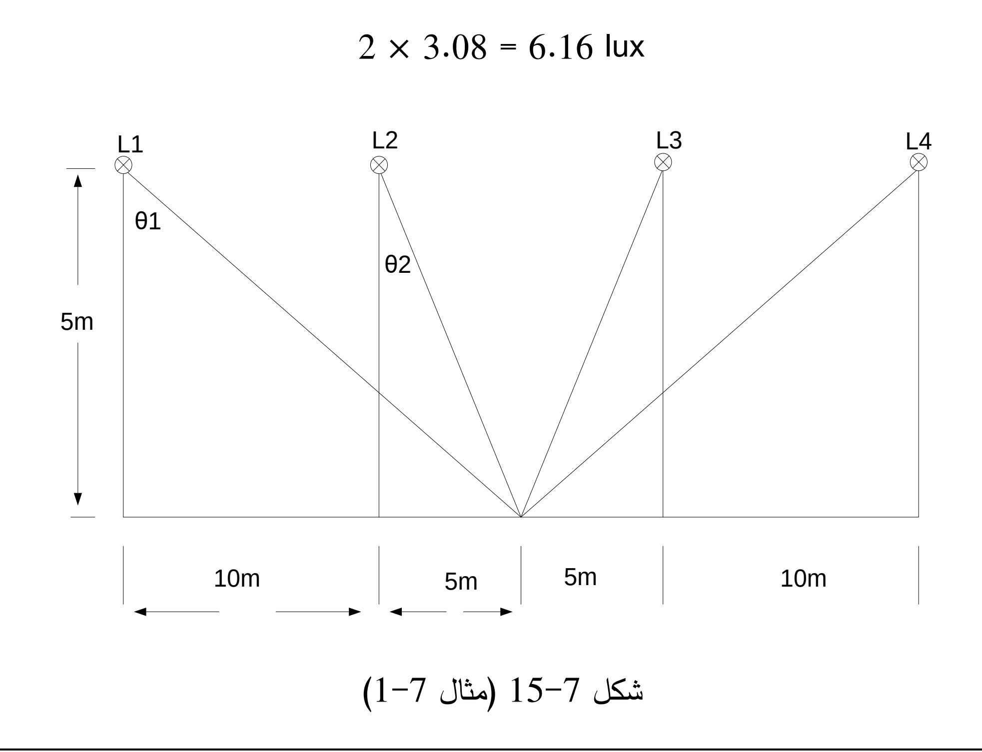
$$E_{L1} = \frac{200}{5^2}\cos^3\theta_1 = 0.25 \quad lux$$

وبالمثل يمكن حساب قيمة الزاوية $\theta_2 = 45°$. ومنها نحسب شدة الاستضاءة نتيجة المصباح الثاني L2 :

$$E_{L2} = \frac{200}{5^2}\cos^3\theta_2 = 2.83 \quad lux$$

ومن ثم تكون مجموع شدة الاستضاءة من المصباحين الأول والثاني تساوى 3.08 lux، وهذا يعنى أن شدة الاستضاءة نتيجة المصابيح الأربعة تساوى :

$$2 \times 3.08 = 6.16 \text{ lux}$$



شكل 7-15 (مثال 7-1)

7-6-3 حسابات الإضاءة الداخلية بطريقة الليومن

تعتمد حسابات كمية ونوعية الإضاءة المطلوبة لإنارة مساحة معينة على الأغراض المستخدم لها المبنى ونوعية العمل. وطريقة الليومن هى طريقة سريعة وبسيطة ولا قيود فيها على نوعية أو مكان المصابيح، فهي تعطيك العدد المناسب من المصابيح (أيا كان نوعها) للحصول على استضاءة معينة أو العكس، أي تعطيك الاستضاءة الناتجة عن عدد معين من المصابيح، وهى من أكثر الطرق شيوعا لحسابات الإضاءة الداخلية.

وطريقة الليومن لها صورتان، أحداهما مبسطة جدا، حيث يتم حساب شدة الاستضاءة فقط بقسمة الفيض الكلى على المساحة الكلية دون أخذ أى عوامل أخرى فى الاعتبار، كما فى المثالين التاليين. وهناك أيضا الطريقة المعدلة، والتى ندرسها تفصيلا فى الجزء التالى.

مثال 7-2

عند إضاءة غرفة معيشة مساحتها 5x8 متر. استخدم - طبقا لمتطلبات الديكور - عدد 4 لمبات متوهجة قدرة 150 وات مدفونة بالسقف، وكان الفيض الصادر من هذه المصابيح يساوى Lm 2830 لكل مصباح، واستخدم أيضا عدد 5 لمبات فلورسنت فى الكرانيش (كل منها له Lm 4160) وأخيرا استخدمت ثلاثة مصابيح هالوجين (4730 Lm لكل منها). فإذا كان مستوى شدة الاستضاءة المطلوبة يساوى 800 lux، فالمطلوب التأكد من أن هذا العدد من المصابيح المختلفة كافي لتحقيق مستوى شدة الاستضاءة المطلوبة. (اعتبر أننا نستفيد فقط من 60% من فيض المصابيح المدفونة بالسقف)

الحل:

طبقا لمستوى شدة الاستضاءة المطلوبة ومساحة الغرفة فإن إجمالي الليومن المطلوب يساوى

$$E \times A = 800 \times 40 = 3200 \text{ Lm}$$

فإذا حقق الفيض الصادر من مجموعة المصابيح الواردة فى المثال هذه القيمة فسيعتبر التصميم سليما، وهو ما سنفتش عنه فى الخطوات التالية:

بما أن الفيض من المصابيح المتوهجة يساوى

$$4 \times 2830 \times 0.6 = 6792 \text{ Lm}$$

(لاحظ أنها مدفونة إى أننا نستفيد فقط من 60% من الفيض الكلى)

وبما أن الفيض من اللمبات الفلورسنت يساوى

$$4160 \times 5 \times 0.6 = 12480 \text{ Lm}$$

(تم الضرب في 0.6 لأنها إضاءة غير مباشرة فهى مدفونة بالكرانيش)

أما الفيض من اللمبات الهالوجين فيساوى

$$3 \times 4730 = 14190 \text{ Lm}$$

إذن الفيض الكلى من كافة المصابيح = 6792+ 12480 +14190 = 33462 ليومن

وهو أعلى من مستوى الفيض المطلوب، إذن فعدد المصابيح كاف. ورغم بساطة الطريقة إلا أنها بالتأكيد غير دقيقة، وتعتبر تقريبية و مناسبة فقط للحسابات السريعة.

مثال 7-3

ملعب لكرة القدم مساحته 120m x 60m يراد إضاءته ليلا بمصابيح قدرة كل واحد منها 1000W وأن تكون الاستضاءة منتظمة حول الملعب باستخدام أبراج عددها 12 برج، ويفرض أن 40 % فقط من الإضاءة تصل إلى الملعب. فإذا كانت شدة الاستضاءة المطلوبة 1000 Lm / m^2 وأن كفاءة المصابيح المستخدمة 30 Lm/W. احسب عدد المصابيح فى كل برج.

الحل

مساحة الملعب =

$$120 \times 60 = 7600 \text{ m}^2$$

الفيض المطلوب يساوى

$$E * A = 7600 \times 1000 = 7.6 \times 10^6 \text{ Lm}$$

وحيث أن 40 % من الفيض يصل إلى أرض الملعب (الباقى يتشتت في الفضاء) فإن الفيض الكلى المطلوب من المصابيح

$$= 7.6 \times 10^6 \div 0.4 = 19 \times 10^6 \text{ Lm}$$

الفيض المطلوب من كل برج

$Lm = 19 \times 10^{6} \div 12 = 1.58 \times 10^{6}$

الفيض الخارج من كل مصباح

$= 30\ Lm/W \times 1000W = 3 \times 10^{4}\ Lm$

عدد المصابيح فى كل برج

$= 1.58 \times 10^{6} / 3 \times 10^{4} = 52.67 \rightarrow 53$ Lamp

4-6-7 طريقة اللليومن المعدلة

فى هذه الطريقة سـيؤخذ فى الاعتبار عدة عوامل مؤثرة على كفاءة الإضــاءة، منها أبعاد الغرفة، ومعامل الاستفادة والمعادلة الآتية هى المعادلة المستخدمة فى طريقة الليومن:

$$E = \frac{N\ \phi\ UF\ L_L}{A} \qquad \text{.....................7-13}$$

حيث

E شدة الاستضاءة المطلوبة و وحداتها Lm/m^2.

A مساحة مستوى التشغيل ووحدتها m^2.

Φ الفيض الضوئى لكل مصباح ووحداتها بالليومن.

UF معامل الاستفادة Utilization Factor، وهو رقم أقل من الواحد.

L_L معامل فقد الضوء، وهو رقم أقل أيضا من الواحد.

N عدد المصابيح.

وعند استخدام المعادلة السابقة يجب إتباع الخطوات الآتية :

الخطوة الأولى : تحديد نوع الإضاءة المطلوبة

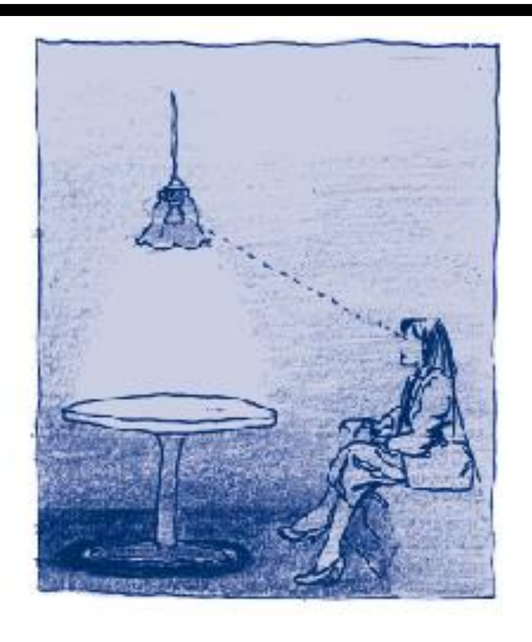
الإضـاءة عموما تكون إما (مباشـرة أو غير مباشـرة)، وتصـنف الإضـاءة بأنها مباشـرة إذا كان أكثر من 90% من الفيض قد تم توجيهه لأسـفل. وتتميز هذه النوعية من الإضـاءة بقوة الاسـتضـاءة الناتجة منها فتسليط الضوء كله على مكان العمل مثلاً يساعد على تركيز إضاءة جيدة على السطح المطلوب، إلا أن السقف يبقى معتماً ويصبح إجهاد البصـر كبير الاحتمال نتيجة تنقل البصـر من نقاط مضـيئة بشدة إلى نقاط ضعيفة الإضاءة، كما يعيبها ظهور الظل والتأثر بالبهر.

فإذا أردنا أن نتخلص من الظل ومن البهر فعلينا أن نلجأ للإضـاءة غير المباشـرة حيث 90% من الفيض يتجه لأعلى. و يمكن أن نحصل على الإضاءة غير المباشرة بوضع المصابيح مدفونة فى الحائط أو فى كرانيش السـقف Recessed Fixtures، و هي طريقة تعطي منظراً بهيجاً ومريحاً، ويكاد يشـبه ضـوء السماء، غير أن مثل هذه الإضـاءة تجلب النعاس وتتعب البصـر عند القراءة وعند القيام بأعمال دقيقة، و العيب الأساسى فيها هو ضعف كفاءة الاستفادة من فيض المصباح.

وحسابيا، فإن تحديد نوعية الإضـاءة سيؤثر فى النسبة المستفاد منها من الفيض الصادر من المصباح، فكما هو متوقع سـيسـتفاد بنسـبة أكبر من الفيض فى حالة اسـتخدام الإضـاءة المباشـرة، فالإضـاءة الغير مباشرة رغم أنها ستكون أكثر جمالا لكن ستتسبب فى فقد نسبة كبيرة من الضوء، ولذا يجب ضرب قيمة الليومن الصادر من المصباح فى حالة الإضاءة غير المباشرة فى 0.6، أى أننا نستفيد فقط من 60% من الفيض الصادر من هذا المصباح.

ويتم تغيير نوعية الإضــاءة باســتخدام العواكس Reflectors، كما أننا نلجأ إلى اســتخدام العواكس عند الحاجة لتعديل المنحنى الخاص بالمصباح أو لتقليل تأثير الزغللة Glare كما فى الشكل 7-16.

وهناك أيضا درجات أخرى بين الإضاءة المباشرة والإضاءة غير المباشرة تعرف بالإضاءة " شبه المباشرة "، وهناك أيضا الإضاءة " شبه الغير مباشرة "، وذلك كله حسب نسبة الضوء الساقط مباشرة من المصباح.



شكل 7-16 : استخدام العواكس للتقليل من الزغللة (البهر)

<u>الخطوة الثانية</u> : تحديد مستوى شدة الاستضاءة

فى هذه الخطوة يتم تحديد مستوى الاستضاءة المطلوبة. ويبين الجدول 7-3 بعضا من قيم شدة الاستضاءة الموصى بها عالميا (تحسب مستوى الاستضاءة في العادة عند ما يسمى بمستوى التشغيل، هو مستوى مرتفع عن سطح الأرض بمسافة تتراوح بين 70 إلى 90 cm) . (راجع المواصفات الخاصة ببلدك)

جدول 7– 3 : مستوى شدة الإضاءة فى الفراغات المختلفة للمباني

المكان		شدة الإضاءة (لوكس)
المبانى السكنية	سلالم	120
	ممرات	60
	غرف معيشة :	
	عام	150
	قراءة	300
	غرفة طعام	120
	غرفة نوم	120
	مطبخ :	
	عام	120
	فوق أسطح العمل	500
	حمام:	300
	حجرة مكتب :	
	- عام	300
	- فوق سطح المكتب	500
المكاتب	إستقبال، قاعات استراحة	120
	صالات إجتماعات	300
	حجرة تصوير وطباعة	300
	حجرة الرسم التخطيطى	500
	حجرة الرسم المعمارى الهندسى	1000
المكتبات	**أرفف الكتب :**	
	المستخدمة	300
	غير المستخدمة	60
	أعمال الفهرسة :	
	حجرات الخرائط	1000
	حجرات التصوير	300
	القراءة :	
	قراءة مكتبية	300

	المكان	شدة الإضاءة (لوكس)
المستشفيات	الردهات، السلالم، المصاعد	120
	حجرات العلاج الطبيعي	300
	عيادات خاصة :	
	غرفة انتظار	120
	غرفة فحص	500
	الأسنان :	
	عام	300
	صينية الأدوات	500
	فجوة الفم	3000
	المعامل :	
	أخذ العينات	500
	معمل الأنسجة	1000
	حجرة الفحص المجهرى	300
	التحاليل الكيميائية	5000
	التحاليل البكترليوجية	1000
	تحليل الدم	500
	غرفة العمليات :	
	التحضير والتخدير	500
	عام بغرف العمليات	1000
	مائدة العمليات	25000 – 100000
	غرف المرضى :	
	عام	60
	قراءة	300
	الأشعة :	
	قسم التشخيص	
	حجرة الأشعة	30
	فرز الأفلام	1000
	تحضير الباريوم	500
الفنادق	الممرات والسلالم والمصاعد	120
	الاستقبال	500
	حجرات النوم :	
	عام	150
	طاولة الكتابة ، أماكن التزين	300
	حمامات	300

	المطعم	120
المدارس	الفصول السبورة المعامل حجرات الرسم قاعات الإجتماعات الورش صالة الطعام	300 500 500 500 300 500 120
المحلات والمتاجر	داخل المكان : إضاءة عامة إضاءة أماكن يراد لفت النظر إليها فاترينات العرض : إضاءة عامة إضاءة أجزاء هامة يراد لفت النظر اليها	 300 750 500 3000

الخطوة الثالثة : تحديد نوعية المصابيح

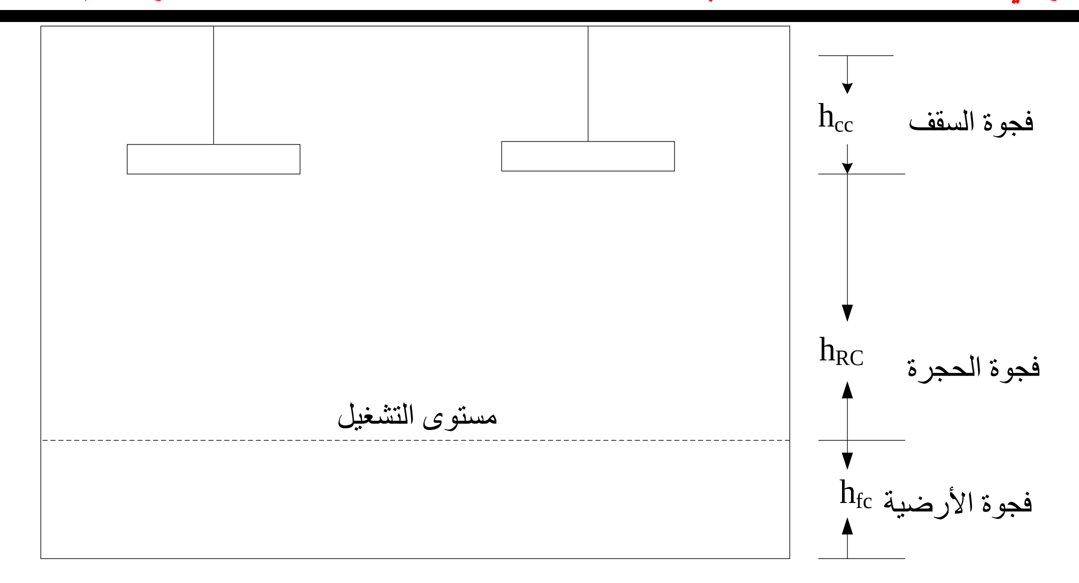
يتم في هذه الخطوة اختيار نوعية المصـــــابيح، طبقا للمتطلبات الديكورية، وذلك من خلال كتالوجات الشركات المختلفة.

الخطوة الرابعة : حساب الـ Room Index ثم حساب معامل الانتفاع Utilization Factor

1- حساب الـ Room Index

قبل حساب الــ Room Index factor، k يجب أولا حساب (h_{RC}) Room Cavity كما فى الشكل 7-17، ثم نحسب الـ Room Index بدلاته وبدلالة أبعاد الحجرة كما يلى:

$$k = \frac{L \times W}{h_{RC}(L + W)} \dots\dots\dots 7-14$$

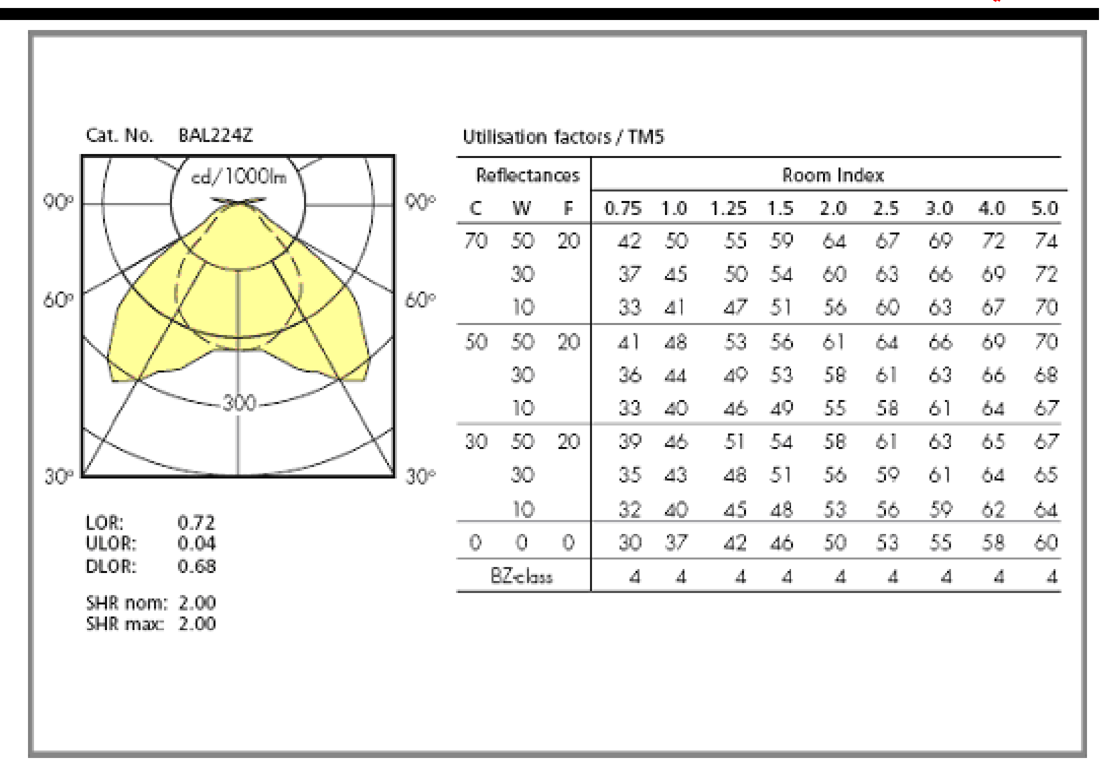


شكل 7-17 : حساب فجوة الحجرة Room Cavity

2- حساب معامل الانتفاع

ويعرف معامل الانتفاع Utilization Factor U_F، بأنه نسبة الفيض الضوئى عند مستوى التشغيل Work plane مقسوما على الفيض الكلى المتولد من المصباح. وهذا المعامل يتأثر بعوامل عدة منها :

- أبعاد الحجرة (طول L، عرض W، والارتفاع H) و يتأثر أيضا بطول المسافة بين المصباح ومستوى التشغيل (h_{RC})، وقد أخذت جميع هذه القيم فى الاعتبار عند حساب الـ Room Index فى الخطوة السابقة.
- يتأثر الـ UF أيضا بدرجة انعكاس الضوء من الحوائط W ومن الأرضيات F ومن السقف C كما فى الجدول الموجود بالشكل 7-18، حيث يتأثر بلون الحوائط (فاتح، غامق)، وهل الحوائط مثلا مجلدة بالرخام أو من دهانات خشنة. لاحظ أن هذه الجداول ستختلف من مصباح لآخر ومن شركة لأخرى.



Utilisation factors / TM5

Reflectances			Room Index								
C	W	F	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
70	50	20	42	50	55	59	64	67	69	72	74
	30		37	45	50	54	60	63	66	69	72
	10		33	41	47	51	56	60	63	67	70
50	50	20	41	48	53	56	61	64	66	69	70
	30		36	44	49	53	58	61	63	66	68
	10		33	40	46	49	55	58	61	64	67
30	50	20	39	46	51	54	58	61	63	65	67
	30		35	43	48	51	56	59	61	64	65
	10		32	40	45	48	53	56	59	62	64
0	0	0	30	37	42	46	50	53	55	58	60
BZ-class			4	4	4	4	4	4	4	4	4

شكل 7–18 : أحد جداول حساب معامل الانتفاع Utilization factor

كما يمثل الجدول 7–4 نموذجا آخر (حســب الكود المصــرى) لتحديد معامل الاســتفادة Utilization Factor. ويمكن الرجوع لمثل هذه الجداول كاملة فى كتالوجات الشركات، أو الكود الخاص بدولتك.

جدول 7-4 : معامل الاستفادة (UF) لوحدات الإنارة

No	Polar curve	LUMINAIRE	Ceiling	75 %			50 %			30 %	
			Walls	50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
			Room Index	COEFFICIENT OF UTILIZATION							
			H	.49	.49	.48	.49	.48	.47	.48	.47
			G	.53	.52	.51	.52	.51	.50	.51	.49
			F	.55	.54	.53	.53	.53	.52	.53	.51
			E	.57	.57	.36	.37	.56	.55	.55	.54
			D	.61	.59	.58	.59	.58	.57	.57	.56
			C	.62	.61	.59	.60	.59	.58	.58	.37
			B	.63	.62	.61	.61	.60	.59	.59	.58
			A	.64	.63	.62	.62	.61	.60	.60	.59
2			J	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.26	.23
			I	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.33	.31
			H	.41	.38	.34	.41	.38	.34	.37	.34
			G	.45	.41	.39	.44	.41	.39	.40	.39
			F	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41
			E	.51	.48	.46	.50	.48	.46	.46	.46
			D	.55	.52	.50	.54	.52	.50	.51	.50
			C	.56	.54	.52	.55	.53	.52	.52	.51
			B	.59	.57	.55	.58	.56	.54	.55	.54
			A	.60	.58	.56	.59	.57	.56	.56	.55

الخطوة الخامسة : حساب معامل فقد الضوء (معامل الصيانة).

عندما تستعمل المصابيح لفترة زمنية طويلة فإن الفيض الخارج منها سيتأثر لاشك خلال هذه الفترة بعدة عوامل أهمها تغيير جهد التشغيل، و تغير معاملات الانعكاس، ومعدلات احتراق المصابيح، و عمر المصابيح، وأيضا بمستوى نظافة اللمبات، وكل هذه الاعتبارات تؤخذ فى الاعتبار عند تعيين معامل فقد الضوء LL. وتتراوح قيمة معامل الصيانة من 0.76 إلى 1 فى حالة الصيانة الدورية المنتظمة، فى حين تبلغ قيمته من 0.66 إلى 0.75 فى حالة الصيانة غير المنتظمة لوحدات الإنارة.

الخطوة السادسة : حساب عدد المصابيح

بعد حساب U_F فى الخطوة الرابعة، وحساب الـ L_L فى الخطوة الخامسة، وبمعلومية قيمة الفيض Φ الصادر من المصباح الذى تم اختياره فى الخطوة الثالثة، وبمعلومية مستوى الاستضاءة المطلوبة E والتى تم تحديدها فى الخطوة الثانية، بعد كل ذلك يمكن حساب عدد المصابيح N تمهيدا لتوزيعها بالشكل الملائم باستخدام المعادلة :

$$N = \frac{EA}{\phi U_F \ L_L} \qquad ....7-15$$

حيث

E شدة الاستضاءة المطلوبة ووحداتها Lm/m^2.

A مساحة مستوى التشغيل Work plane ووحدتها m^2.

Φ الفيض الضوئى لكل مصباح ووحداتها باللليومن Lumen.

U_F معامل الاستفادة Utilization Factor، وهو رقم أقل من الواحد.

L_L معامل فقد الضوء، وهو رقم أقل أيضا من الواحد.

N عدد المصابيح.

مع ملاحظة أن بعض الشركات تضرب عدد المصابيح التى نحصل عليها من المعادلة السابقة فى 1.25 كمعامل أمان إضافي لأى متغيرات غير مأخوذة في الاعتبار.

الخطوة السابعة : توزيع المصابيح

عندما تكون قيمة (N) المحسوبة من العلاقة السابقة عدداً كسرياً، يتم تقريب القيمة المحسوبة إلى العدد الصحيح التالى مباشرة، (مثال: 10.3 تصبح 11 وهكذا). ويمكن زيادة عدد وحدات الإنارة إلى الرقم الذى يحقق عدة حلول لتوزيع هذه الوحدات، (فمثلا 11 يمكن زيادتها إلى 12 والتى تعطى توزيع 2 صف × 6 وحدات إضاءة أو 3 صفوف × 4 وحدات).

مثال 7-4

مطلوب تصميم إضاءة مكتب أبعاده 7 x 14 متر، وارتفاع السقف 3 متر، و مستوى الاستضاءة المطلوبة يساوى 1000 Lux، علما بأن انعكاس السقف 70% والحوائط 50 %، والأرضيات 20%، وأن مستوى العمل يرتفع 75 سم من الأرض، وأن وحدة الإضاءة المستخدمة تنتج فيضا قدره 2250 ليومن ومعلقة تحت السقف بمسافة 60 سم.

الحل:

يجب أولا تحديد فجوة الحجرة h_{RC} وستساوى

$$H_{RC} = 3 - 0.6 - 0.75 = 1.65 \text{ m}$$

ثم بمعلومية أبعاد الحجرة

L = 14m

W = 7m

H = 3 m

نحسب منها الـ Room Index (راجع المعادلة 7-14)

$$k = \frac{L \times W}{h_{RC}(L+W)} = \frac{14 \times 7}{1.65(14+7)} = 2.8$$

الآن بمعلومية هذه القيمة (تقرب إلى 3 فى الشكل 7-18)، وبمعلومية أيضا نسبة الانعكاس من السقف (70%) ، وانعكاس الحوائط (50%)، وانعكاس الأرضيات (20%)، ومن الجدول الموجود في

شكل 7-18 وستجد أن معامل الاستفادة U_F يساوى 0.69، وبفرض أن معامل فقد الضوء يساوى 0.7، ثم بالتعويض فى المعادلة 7-15 لحساب عدد المصابيح N نجد أن العدد يساوى

$$N = \frac{1000 * 7 * 14}{2250 * 0.69 * 0.7} = 90.1 \cong 91$$

مثال 7-5

المطلوب تصميم نظام الإضاءة لغرفة اجتماعات أبعادها كالاتي:

L = 15.00 m

W = 8.00 m

H = 3.40 m

h_{RC} = 2.55 m

علما أن المستوى المطلوب للاستضاءة يساوى 300 Lux، ومواصفات اللمبة المستعملة هى كما يلى:

OSRAM DULUX 2 x 24 W

Light color LUMILUX Warm

Luminous flux per lamp = 1800 Lumen

Light loss factor = 0.58

مع مراعاة أن الانعكاس من الحوائط والسقف والأرضيات معطى بالقيم التالية:

Ceiling = 0.8

Wall = 0.5

Work surface = 0.3

الحل:

نحتاج أولا إلى حساب الـ Room Index Factor، k طبقا للمعطيات فى رأس المسألة

$$k = \frac{L \times W}{h_{RC}(L+W)} = \frac{15 \times 8}{2.55\,(15+8)} = 2$$

ومن الجدول 7-5 (وهو خاص بالشركة المنتجة للمصابيح) سنجد أن UF المقابل لانعكاس السقف = 80% والحوائط = 50% والأرضيات = 30% مع (Room Index = 2) سنجد أن UF المقابل يساوى 0.91.

ومن معطيات ومواصفات اللمبة نجد أن Light Loss = 0.58.

جدول 7–5 : أحد جداول حساب Room Utilization Factor

معاملات الانعكاس										
Ceiling	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	0.5	0.5	0.3
Wall	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.8	0.3	0.5	0.3	0.3
Surface	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Room Index Factor, k	Room Utilization Factor in %									
0.6	73	46	37	44	36	66	36	42	35	35
0.8	82	57	47	54	46	74	45	51	44	44
1.0	91	66	56	62	54	80	53	59	52	51
1.25	98	75	65	70	62	85	61	66	60	59
1.5	103	82	73	76	69	89	67	72	66	65
2.0	109	91	82	84	78	94	75	78	73	72
2.5	114	98	90	90	84	97	81	83	79	77
3.0	117	103	96	95	90	99	86	87	83	82
4.0	120	109	103	100	95	101	91	91	88	86
5.0	122	113	107	103	98	103	93	93	91	89

وبالتعويض نجد أن عدد المصابيح

$$N = \frac{1.25 \times 300 \times 15 \times 8}{2 \times 1800 \times 0.58 \times 0.91} = 23.7$$

وتقرب إلى أقرب أعلى عدد صحيح (24)، والتوزيع المقترح هو 3 x 8 Lamp.

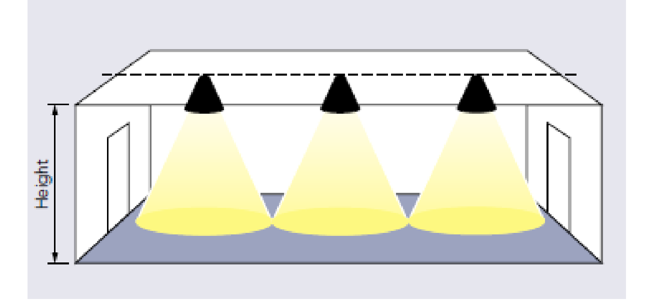
وأخيرا، يمكن تحديد نسبة المسافة البينية بين المصابيح وكذلك تحديد ارتفاع تعليق وحدات الإنارة من الجدول 7-6.

جدول 7-6: منسوب التعليق والمسافات البينية لوحدات الإنارة

إضاءة غير مباشرة أو شبه غير مباشرة				إضاءة مباشرة – شبه مباشرة– أو تناثريه			إضاءة مباشرة مركزه	إضاءة مباشرة شبه مركزه
ارتفاع السقف (م)	المسافة من الحوائط (م)	تدلى الوحدة (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)	منسوب التعليق (م)	المسافة من الحوائط (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)	أقصى مسافة بين الوحدات (م)
2.40	0.90	-0.30 0.90	2.70	2.40	0.90	2.25	1.65	0.75
2.70	0.90	-0.45 0.90	3.15	2.70	0.90	2.70	1.80	0.90
3.00	1.05	-0.60 0.90	3.75	3.00	1.05	3.15	2.10	1.20
3.30	1.05		4.05	3.30	1.05	3.60	2.40	1.35
3.60	1.20	-0.75 1.20	4.50	3.60	1.20	4.05	2.70	1.50
3.90	1.20	-0.90 1.20	5.10	3.90	1.20	4.50	3.00	1.65
4.20	1.50		5.70	4.20	1.50	4.95	3.30	1.80
4.50	1.50		6.00	4.50	1.50	5.40	3.60	1.95
4.80	1.80	-1.20 1.50	6.60	4.80	1.80	6.00	3.90	2.10
5.40	1.80		7.20	5.40	1.80	6.60	4.65	2.40
أكثر من 5.40	2.10	-1.20 1.80	8.40	6.00 أو أكثر	2.10	7.50	5.25	2.70

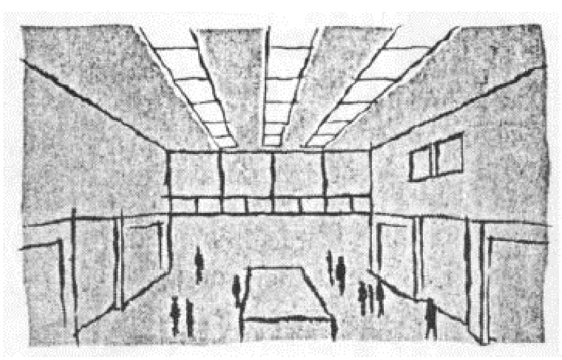
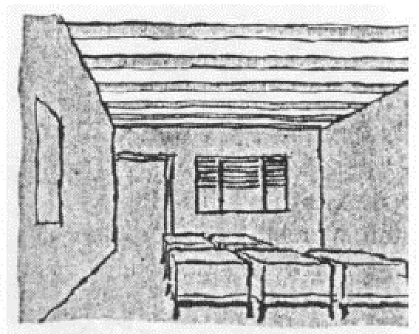
7-6-5 اعتبارات هامة فى التصميمات

1- يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عند توزيع أعداد المصابيح المحسوبة كما فى الأمثلة السابقة ألا تزيد النسبة بين أعلى إضاءة إلى أقل إضاءة عن 1.25 وذلك حتى يمكن تصنيف الإضاءة بأنها منتظمة، وحتى لا يحدث ما يسمى Irregular distribution. ولتحقيق ذلك يجب أن تكون نسبة المسافة بين أى مصباحين إلى ارتفاع المصباح أو ما يسمى بـ Space to Height Ratio لا تزيد عن 1.5 حتى لا تحدث بقع مظلمة كما فى الشكل 7-19.



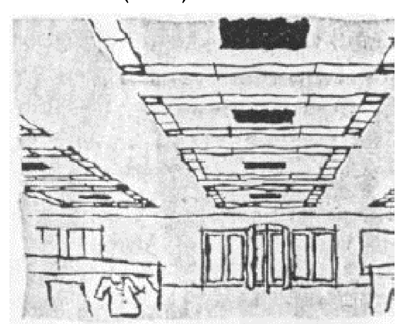
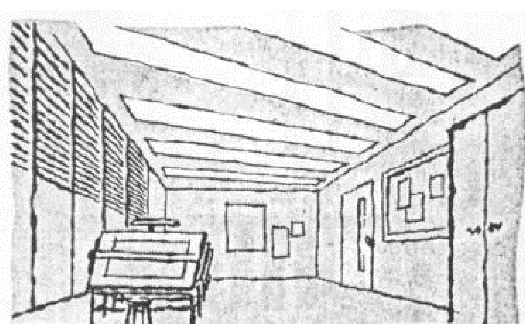
شكل 7-19

2- إذا أردت أن تظهر اتساع المكان فاستخدم الإضاءة المستعرضة كما فى الشكل 7- 20 (يمين) أما إذا أردت أن تبرز عمق المكان فيجب أن تستخدم الإضاءة الطولية. كما فى الشكل 7-20 (يسار).

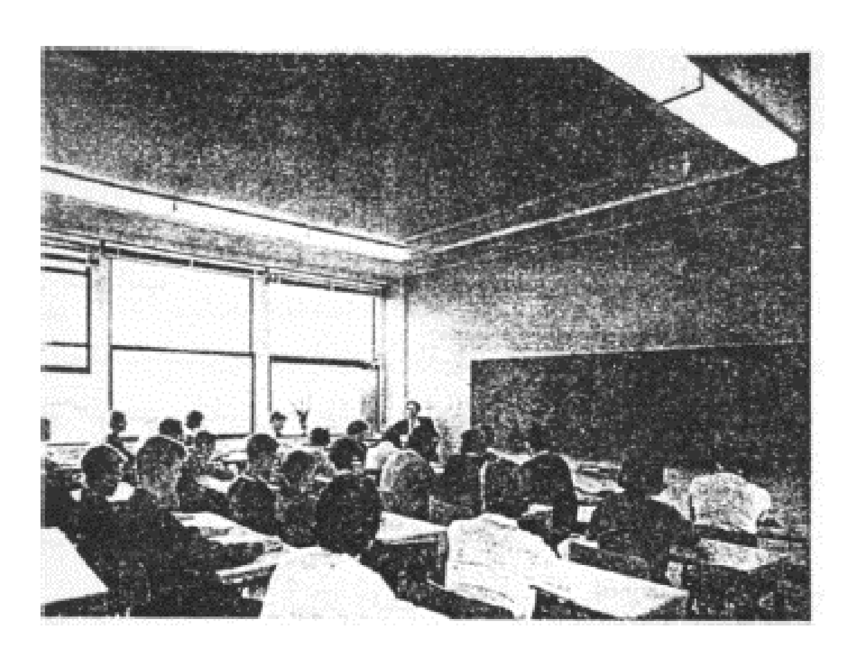
شكل 7-20

3- التشكيلات المائلة للمصابيح تخفف من ظهور الظلال كما فى الشكل 7-21 (يمين) أما التشكيلات المستطيلة فتساعد فى جذب الانتباه كما فى الشكل 7-21 (يسار).

شكل 7-21

4- فى قاعات المدارس يجب أن تكون النافذة على يسار الطلاب لمنع الظلال، ويفضل استخدام لمبات فلورسنت طولية موازية للنافذة ومتباعدة قدر الإمكان، مع مراعاة أن يكون للسبورة إضاءة غير مباشرة خاصة بها لتجنب البهر Glare كما فى الشكل 7-22.



شكل 7-22

5- لاحظ أنه لو وضع مصدر الضوء على يمين الطالب فسيتكون الظل كما فى الشكل 7-23.



a.



b.

شكل 7-23

7-7 مصابيح الإضاءة

المصابيح هى مصدر الإضاءة الكهربية حيث تقوم بتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ضوئية. ويوجد أنواع كثيرة من المصـابيح الكهربية تختلف فى تركيبها وطرق تشـغيلها وكفاءتها ولون إضـاءتها. ويمكن تصـنيف المصابيح الكهربية فى أربع مجموعات :

1- المصـابيح المتوهجة وتتضمن ما يلى :

- مصابيح التنجستن العادية Incandescent Lamps.
- مصابيح التنجستين الهالوجينية Tungsten Halogen Lamps.

2- مصابيح التفريغ الغازى (Gas Discharge Lamps) وتتضمن ما يلى :

- مصابيح الفلورسنت Fluorescent lamps (وتعرف أيضا بمصابيح الزئبق منخفض الضغط)
- مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي (HPS) High Pressure Sodium lamps.
- مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض(SOX) Low Pressure Sodium lamps .
- مصابيح الزئبق ذات الضغط العالي(HPM) High Pressure Mercury lamps .
- مصابيح الهاليد المعدنى Metal Halide lamps.
- لمبات النيون Neon lamp.

3- المصـابيح الموفرة للطاقة.

4- مصابيح الـ LED.

7-7-1 المصابيح المتوهجة Incandescent lamps

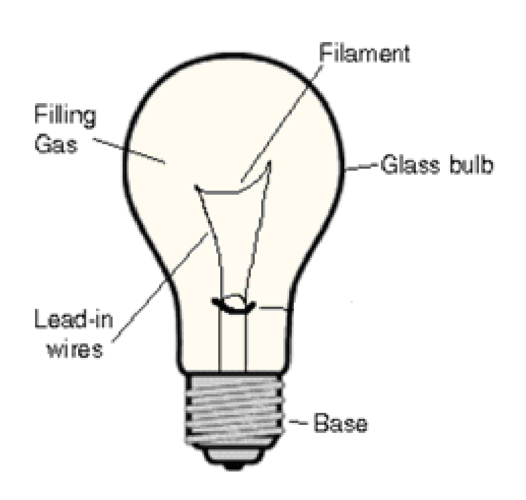
تنتج مصـابيح الفتيلة المتوهجة ضوءا عند تسخين فتيلة التنجستن حتى التوهج، ولذا تسمى أيضا بالمصابيح الحرارية، وقد استخدام التنجستن فيها لما يتميز به من صـلابة، وتحمل للحرارة العالية، كما أنه يتميز كذلك بضعف معدل البخر له (المقصود تبخر السلك المعدنى مع ارتفاع درجة حرارته). وتوضـع الفتيلة فى وسط مفرغ من الهواء (بصيلة Bulb) تحتوى على غاز خامل (أرجون أو أرجون + نيتروجين). وقد يرفع الضغط داخل الــ Bulb إلى 1.5 جوى، لأن الضغط المرتفع يخفض معدل البخر ويطيل عمر المصباح. ووظيفة

هذا الغاز الخامل أن يمنع أكســدة الفتيلة عند ارتفاع درجة حرارتها، ويقلل من تبخر معدن الفتيلة، ومن ثم يطيل من عمر المصباح، كما أنه يقلل من السواد الذى يغطى المصباح من الداخل نتيجة البخر. ويوضح شكل 7-24 مكونات المصباح. و الـ Bulb لها أنواع متعددة :

- زجاج عادى وله أشكال متنوعة (شفاف – مفضض) .
- أبيض ديلوكس (سيليكا تخفى السواد الناتج عن البخر) .
- ضوء النهار (زجاج أخضر مزرق يمتص جزء من الأحمر).

والكفاءة الضـوئية للمصـابيح المتوهجة حوالى 10 Lm/W وتعتبر كفاءة منخفضـة حيث يضـيع جزء كبير من الطاقة على صورة حرارة. وأكثر استخداماته تكون فى مجالات الخدمة الشاقة مثل القطارات و السيارات وإشارات المرور. وهذه بعض الخواص الهامة:

- المظهر: دافئ (2800 درجة)
- أمانة النقل CRI: قرب 100
- العمر: 1000- 4000 ساعة
- الفتح والغلق: لا يحتاج لدائرة خاصة ولا يتأثر عمره بعددها
- التحكم: يمكن خفض جهد حتى 50%



شكل 7-24 : مصباح التنجستن

7-7-2 مصابيح الهالوجين

الأصل أنها مصابيح تنجستن وأضيف لها أحد الهالوجينات (يود، بروم، فلور) ويصدر عنها حرارة عالية لذا نستخدم الكوارتز فى زجاج الـــ Bulb الخاصة بها (شكل 7-25)، وفكرة عمله أنه عندما يتحد بخار التنجستن مع الهالوجين المضاف فإن الجزيئات الناتجة تقترب من الفتيل التنجستن الساخن وترسب عليه وبالتالى فقد اختفت معه ظاهرة السواد الداخلى، وهذه الدورة استرجاعية Regenerative cycle. بمعنى أن المادة المتكونة مع ارتفاع درجة حرارة الفتيلة تتحلل مرة أخرى إلى تنجستن وهالوجين، وهكذا.

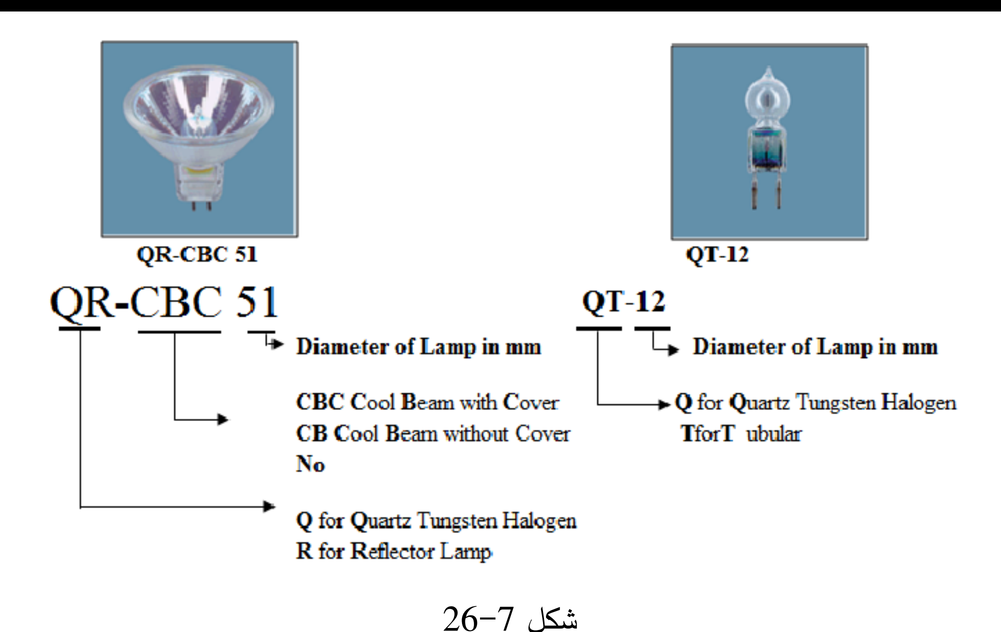
و قد أدت فكرة هذه الدورة إلى إطالة عمر المصباح إلى 2000 ساعة كحد أدنى بدلا من 1000 ساعة، وإلي زيادة الكفاءة الضوئية إلى 21 ليومن / وات مع الاحتفاظ بأمانة نقل ألوان CRI عالية تقترب من 100، لكن لا يفضل معه خفض الجهد. لاحظ أن التخلص التام من ظاهرة التسويد أدي إلى خفض الغلاف الزجاجي إلى 90 % من حجم مصباح متوهج عادي له نفس القدرة.



شكل 7-25

وأبرز مجالات الاستخدام في المناطق التي تحتاج إلى قدرة صغيرة وإضاءة عالية، وأمانة عالية لنقل الألوان مثل أجهزة تسليط الشرائح Projectors، ومصابيح السيارات، وإضاءة المسارح، كما يستخدم فى المنازل و المحلات ولمبات الغمر الضوئى Flood Light، والبؤر الضوئية Spot Light.

والرموز المكتوبة على المصباح يمكن فهمها من المثال التالي (شكل 7-26):



شكل 7-26

7-7-3 مصابيح التفريغ الغازى

تنتج مصـــابيح التفريغ الغازية الضــوء من طريق مرور الكهرباء عبْر غاز تحت الضــغط، بدلاً من توهج الفتيلة كما فى المصـــابيح المتوهجة. ومثل هذه العملية تسـمى بالتفريغ الكهربي Electric Discharge. ولذا تسمى هذه المصـابيح أحياناً بمصـابيح التفريغ الكهربي. وتضم هذه العائلة من المصـابيح: المصـابيح الفلورية، ومصـابيح النيون، ومصـابيح الصـوديوم منخفضـة/عالية الضـغط، ومصـابيح بخار الزئبق عالية الضغط، ومصابيح الهاليد المعدنية.

الفكرة العامة لمصابيح التفريغ الغازى

الفكرة العامة لكافة هذه المصابيح هو حدوث قوس كهربى Electric Arc خلال غاز تحت ضـغط منخفض أو مرتفع. وفى أغلب هذه المصـابيح يكون هناك غازين خاملين بداخل المصـباح: الأول يكون سـريع التأين ويسـمى غاز البدء، ويحتاج لجهد عالي عند البدء، أما الغاز الثاني فتسـتثار ذراته باصـطدام الإلكترونات المنبعثة من إلكترودات اللمبة (التى تصـنع غالبا من التنجسـتن)، ويصـاحب ذلك انبعاث للخطوط الطيفية Light Spectrum الخاصـة بهذه الذرات، ولذا سـتختلف الألوان الصـادرة من هذه المصـابيح حسب الغاز الثاني الموجود بداخلها، وتسمى اللمبة غالبا باسم هذا الغاز (الصوديوم، النيون، الزئبق، إلخ).

وظيفة الملف الكابح Ballast

وينشأ عن الـ Electric Arc فى الغاز الثاني تيار عالي جدا، لاسيما وأن مقاومة الــ Arc سالبة أى أنها تنقص مع زيادة التيار فتحدث زيادة مضــطردة فى قيمة التيار، ولذا نحتاج غالبا إلى ملف كابح Ballast يوصل على التوالى مع المصباح للحد من هذا التيار طوال مدة تشغيل المصباح في كل هذه النوعية من المصابيح.

وللملف الكابح وظيفة أخرى هى المحافظة على فرق الجهد خلال اللمبة ثابتا طوال فترة التشـــغيل. ومع وجود هذه الملفات أصــبح من الضـــرورى اســتخدام مكثفات لتحســين معامل القدرة فى هذه النوعية من المصابيح بسبب انخفاض الـ Power Factor.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن لهذا الـ Ballast وظيفة أخرى تحدث تحديدا عند البدء فقط، حيث يساهم بصورة أســاســية فى توليد الجهد العالي اللازم لعملية البدء. فعند توصــيل الكهرباء لدائرة المصــباح يقوم البادئ (Starter or Igniter) بتوصيل تيار صغير يمر خلال ملف الـ Ballast، وينشأ هذا التيار مجالا كهربيا صغيرا فى الملف، لكن هذا البادئ سرعان ما يفصل وينقطع التيار، وهنا نستفيد من الـــــ Inductance العالية التى يتميز بها هذا الملف، فينشأ بسببها ظهور جهد عالي لحظى بين أطراف الملف $(V = L\frac{di}{dt})$، وتتأثر اللمبة بهذا الجهد العالي فيحدث انهيار لعــــــــــازلية الغاز Gas Insulation Breakdown الموجود بداخلها فيحدث تفريغ للغاز Electric Discharge، ويصــبح موصــلا. وقد يحتاج لعدة محاولات للوصـــول إلى التوصـــيل الدائم حيث تصـــبح درجة الحرارة داخله مناســبة. وهذه الفكرة العامة تكاد تكون مشتركة فى كافة أنواع مصابيح التفريغ.

وباستثناء المصـابيح الفلورية فإن مصـابيح التفريغ الغازي لا تُستخدم في المنازل، حيث تبدو ألوان الأشـياء مختلفة عن لونها الطبيعي بدرجة كبيرة على الرغم من أنها تُعَمَّر مدة أطول، وتعطي ضوءاً أشد، مقابل كل Watt من القدرة، وهى من هذا الجانب أكفأ من المصابيح المتوهجة.

7-7-4 مصابيح الفلورسنت (الزئبق منخفض الضغط)

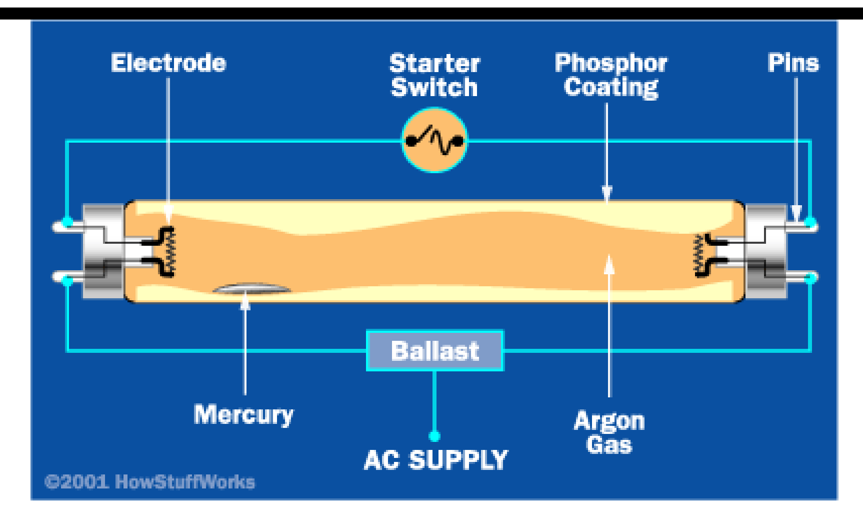
يتركب المصباح الفلورسنت من إلكترودين عند الأطراف (يسميان بالأنود والكاثود)، تنبعث منهما إلكترونات عند تسخينها، وغالبا تكون مصنوعة من تنجستن مطلى بالباريوم، وتوضع الــ Electrodes داخل أنبوب اسطوانى يحتوى على خليط من بخار الزئبق والأرجون تحت ضـغط منخفض جدا (وهذا يسـاعد على إبقائه على هيئة غاز)، كما يحتوي السـطح الداخلي للأنبوب على مادة فوسفورية تقوم بامتصـاص الأشـعة الفوق البنفسـجية التي تنطلق لدى مرور تيار في غاز بخار الزئبق (والتى هى فى الأصـل موجات غير مرئية) ،

وتطلق هذه المادة بعد امتصاصها لهذه الأشعة موجات ضوئية بجميع الأطوال الموجية مما ينشئ اللون الأبيض المميز لهذه اللمبات.

ويحتاج المصباح إلى بادئ تشغيل Starter (أنبوب صغير بداخله غاز الأرجون سريع التأين وبه إلكترودين قريبين لبعضهما لتسهيل عملية التفريغ)، ويحتاج كذلك إلى الملف الكابح Ballast.

وعند توصيل طرفى اللمبة إلى مصدر كهربى AC supply فإن جهدا كهربيا سينشأ بين طرفى اللمبة وطرفى الـ Starter (راجع الشكل 7-27) ، لكن و بسبب كون الغاز داخل الأنبوب باردا فى بداية التشغيل فإن الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة ستلاقي مقاومة للمرور عبر الغاز، لهذا ستمر عبر الـ Starter الذى يتأين غازه أسرع، ثم تمر عبر إلكترودات مصباح النيون، وبمرور التيار فإن الإلكترودين سيسخنان بشكل كبير (وهى اللحظة التي يحمر فيها طرفي المصباح).

ومعروف أن الإلكترونات تكون سريعة في المواد الساخنة، مما سيجعل عملية قذف الإلكترونات أسهل ليمر عبر الغاز فتمر أول دفعة من الإلكترونات (وهى التى تسخن الغاز داخل الأنبوبة الاسطوانية قليلا) ثم ما يلبث التيار خلال الأنبوب الرئيسي أن ينقطع لأن الغاز لم يسخن لدرجة كافية، فينتقل مرة أخرى ليمر عبر الـ Starter، لتسخن الإلكترودين من جديد، وتنتقل الدفعة الثانية من الإلكترونات عبر الغاز. تتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يسخن الغاز بشكل كاف ليكون مرور الإلكترونات عبره أسهل من مرورها عبر الـ Starter (لهذا يومض المصباح عدة مرات قبل أن يعمل)، ويقوم الملف Ballast بمنع التيار من الارتفاع لقيم عالية بعد تمام الإضاءة وحدوث التفريغ خلال أنبوبة المصباح الرئيسية. لاحظ أنه فى كل مرة – خلال المحاولات الأولية فى بداية التشغيل – عندما ينقطع التيار خلال الـ Starter فإنه يتولد جهد عالي، فينكسر عزل الغاز فى الأنبوب الرئيسي ويحدث تفريغ بين الإلكترودين الأصليين ويمر التيار الذى ما يلبث أن ينقطع لأن الغاز لم يسخن لدرجة كافية.



شكل 7-27 : تركيب اللمبة الفلورسنت

وتتميز هذه المصابيح بأنها تعطى ضعف الكفاءة الضوئية للمصابيح المتوهجة.

السمات والخواص

- زمن البدء 2-5 ثوانى (الأنواع الجديدة لها بدء سريع) .
- معامل القدرة Power factor منخفض.
- الألوان (الأبيض – دافئ – ديلوكس يشبه المتوهج) .
- العمر 7500 ساعة.
- الكفاءة الضوئية حوالى 80 ليومن/وات.
- يتأثر الضوء بالتقادم (يتراكم مسحوق على السطح الداخلى) .
- يتأثر بالحرارة (تؤثر على كمية الطاقة الفوق بنفسجية من القوس).
- لا يعمل إذا انخفض الجهد عن 75%.
- نستخدم مكثف لتقليل تأثير التداخل Interference مع أجهزة الاتصالات وأيضا لتحسين معامل القدرة PF

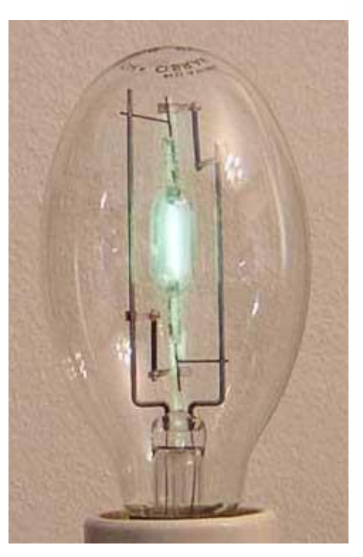
ورغم أن أغلب المصابيح الفلورية عبارة عن أنبوبة اسطوانية الشكل إلا أنه توجد مصابيح علي شكل حرفU أو دائرية الشكل. كما أنه يوجد ثلاثة أنواع من المصابيح الفلورية حسب تشغيلها :

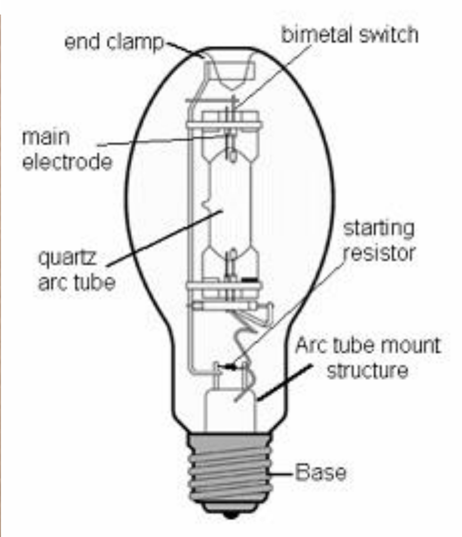
- مصباح ذو تسخين متقدم " قبل بدء التشغيل " وهو يحتاج إلى بادئ خاص.
- مصباح سريـــع البدء ولا يحتاج إلى بادئ، و يستغرق البدء فيه ثانية أو ثانيتين، وهو مزود بـ Starting Coil داخلى يوضع قريب من الإلكترودين وموصل بالأرض.
- مصـــباح لحظي البدء ولا يحتاج إلى بادئ بل تنبعث الإلكترونات على البارد من مادة يطلى بها الإلكترودين.

7-7-5 مصابيح بخار الزئبق عالي الضغط

يتكون مصـــباح بخار الزئبق من أنبوبتين زجاجيتين، إحداهما داخلية (أو أنبوب التفريغ) ، و هى التي يحدث بها القوس الكهربي، و الأخرى خارجية تحفظ أنبوبة القوس من تغيرات درجة الحرارة و في بعض الأحيان تعمل كـــ Filter لإبعاد بعض أطوال الموجات الصادرة من إشعاعات القوس كما فى الشكل 7-28. وقد تحتوى بعض الـــــ Bulbs الخارجية على طبقة من الفسفور و تعرف هذه المصابيح بمصابيح الزئبق الفلورسنتية.

و أنبوب التفريغ الداخلى مصـــنوع من الكوارتز Quartz (لأنه يتحمل أكثر من 700 درجة مئوية كما يتحمل التغيرات المفاجئة فى الحرارة و لا يمتص الضوء المرئى)، ويوضـع بداخله مادتى الزئبق والأرجون، وبداخله أيضـــا يوجد إلكترودين أســاسـيين بالإضــافة إلى إلكترود بدء Starting يوضـــع قريب من أحد الإلكترودين الأسـاسـيين ومتصـل كهربيا بالآخر (الإلكترود السـفلى فى الشـكل 7-28) عن طريق مقاومة بدء Starting Resistance. والمجموعة كلها توضــــع داخل أنبوب زجاج عادى خارجى بينهما غاز خامل كما ذكرنا.





شكل 7-28 : مصباح زئبق عالي الضغط

وعند التوصيل بجهد كهربى يحدث توهج بين الإلكترود والبادئ، فيتأين غاز الأرجون سريعا وينتشر حتى يصل للإلكترود الآخر فيسخن الإلكترودان الأصليان وتنبعث الإلكترونات ويحدث ما يسمى بالتفريغ الكهربى.

لكن التفريغ حتى الآن حدث تحت ضغط منخفض ويتميز باللون الأزرق، لكن سرعان ما يتبخر الزئبق بالحرارة ويزيد ضغطه ويرتفع الضغط داخل المصباح ليصل إلى 15 ضغط جو، فيزداد النصوع ويظهر اللون الأبيض المشرب بالزرقة. لاحظ أن الإشعاعات الصادرة من هذه المصابيح تقع فى مدى الأشعة فوق البنفسجية (غير مرئية) ولذا تحتاج هذه المصابيح لمادة فلورية لتحويل الأشعة الغير مرئية إلى ضوء مرئي.

السمات والخواص

- اللون أبيض مزرق لغياب اللون الأحمر.
- أمانة النقل CRI منخفضة (15-52).
- الكفاءة الضوئية 40-60 ليومن/ وات.
- العمر 20000 ساعة.
- البدء وإعادة التشغيل يحتاج إلى 4- 7 دقائق.

- يستخدم فى إضاءة الشوارع (لاحظ أن البهر Glare المصاحب لهذا المصباح عالي جدا ولذا يجب ألا يوضع فى مستوى البصر بل على ارتفاعات عالية).

7-7-6 مصابيح الصوديوم منخفض الضغط

مثل الزئبق منخفض الضغط (الفلورسنت) مع فارق جوهرى أنه لا يحتاج لمادة فسفورية لأنه ينتج الضوء مباشرة حيث يتولد الضوء عن طريق التفريغ الغازي الذي يتم في وسط له ضغط منخفض يتكون من غاز صوديوم، وغاز خامل (نيون)، أو أرجون تحت ضغط منخفض، ويقع الإشعاع الناشئ عن التفريغ الغازى في مجال اللون الأصفر فقط ولذا فهو وحيد اللون، ولا يحتاج لمادة فلورية مثل مصابيح الزئبق.

وتكون أنبوبة التفريغ الداخلية فى هذه المصابيح عادة علي شكل U (شكل 7-29) ومزودة عند كل طرف بفتيلة مكسية Coated بمادة إنبعاثية (Emitted material) ، وعند التسخين يبدأ التفريغ فيظهر أولا بلون أحمر برتقالى حتى ترتفع درجة الحرارة فيبدأ الصوديوم في عملية التفريغ ويتحول الضوء إلى الأصفر، وتتراوح فترة بداية التشغيل حتي إعطاء الإضاءة الكاملة من 7 إلى 15 دقيقة، وتتم المحافظة علي درجة الحرارة عن طريق العزل الحراري للأنبوبة.



شكل 7-29

السمات والخواص

- لا يحتاج لوقت لإعادة البدء، لكنها تحتاج إلى حوالى 10 دقائق لوصول الضوء إلى أقصى شدة.

- أعلى كفاءة ضــوئية على الإطلاق (133 – 183) ليومن / وات ولكنه يعتبر الأســوأ من حيث أمانة نقل الألوان CRI (23) حيث لا يمكن تمييز الألوان علي ضـــوئه لذلك يســـتخدم في الإضاءة الخارجية فقط كما فى الشوارع والمطارات.
- ويعتبر البهر الناتج منه أقل من المصابيح الأخرى.
- ويصل عمره إلى 15000ساعة وقدرته بين 35 إلى 180 وات.
- ورغم أن أمانة النقل له ســـيئة إلا أن التمييز به أعلى ما يمكن (لذا يســـتخدم فى مصـــابيح الضباب).

7-7-7 مصابيح الصوديوم عالي الضغط

مثل الزئبق عالي الضـــغط مع اختلاف المادة، وتعتمد فكرة عمله علي حدوث تفريغ لبخار لصـــوديوم عند ضـــغط عالي. والفرق بينه وبين الصـــوديوم منخفض الضـــغط أن طول موجات الإشـــعاع تكون علي مدي أوســـع من الطيف المرئي مما يجعل اللون أصـــفر ذهبي به كمية من اللون الأحمر وكمية صـــغيرة من الأزرق والبنفسج.

وبالإضـافة إلى الصـوديوم تحتوي الأنبوبة علي كمية من الزئبق وغاز الزينون الذى يساعد علي عملية بدء المصباح. والغلاف الخارجى للمبة ينتج على شكل بيضاوى أو أنبوبي كما فى الشكل 7–30.

وقد اســتخدمت هذه التقنية بعد اكتشــاف مادة أكســيد الألومنيوم التي لا تتفاعل مع الصـــوديوم حتى مع الضـــغط المرتفع والحرارة العالية، كما أنها مادة شـــفافة تقريبا لا تحجب الضـــوء. وتوضـــع الأنبوبة داخل غلاف زجاجي مفرغ لعزلها حراريا. وبالإضـــافة إلى الصـــوديوم تحتوي الأنبوبة علي كمية من الزئبق حيث يرفع الزئبق الكفاءة الضوئية للمصباح عن طريق خفض الـــ Losses الناتجة عند التوصيل الحراري و الناتجة عن التوصيل الكهربي، كما يحتوى على غاز الزينون الذى يساعد فى عملية بدء المصباح.



شكل 7-30

والمصباح له كفاءة ضوئية عالية (125 ليومن / وات) وأمانة متوسطة لنقل الألوان (45) ولذا تستخدم في الإضاءة الخارجية. ويصل عمر المصباح إلى 24000 ساعة، وعند بدء التشغيل يحتاج المصباح إلى 6 دقائق ليصل إلى 80 % من أقصى شدة، ويحتاج بعد إطفاءه إلى 3 دقائق لإعادة تشغيله.

7-7-8 مصابيح الهاليد المعدني Metal Halide Lamp

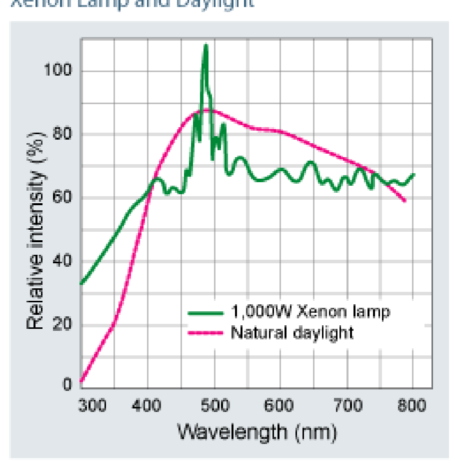
الهاليد المعدني هو مركب ثنائي العنصـر من أحد الهالوجينات وهو اليود، وعنصـر معدني آخر يكون إما الصوديوم أو الثاليوم أو الكانديوم، ويمكن مع استعمال الهاليد الحصول علي أمانة نقل ضوء ممتازة (60-90) وكفاءة ضـوئية عالية 70:100 ليومن / وات، وهو يصـنع بقدرات عالية غالبا (1000 و 2000 و 3500 وات) ، و طريقة التشغيل مثل المصباح الزئبقي الذي سبق شرحه.

<u>السمات والخواص</u>

- الكفاءة والأمانة أعلى من السابقين.
- زمن البدء يتراوح 5-6 ق لكن يحتاج إلى ربع ساعة لإعادة التشغيل.
- العمر أقل 7000 ساعة.
- يستخدم غالبا فى الشوارع والملاعب.

7-7-9 مصابيح الزينون

من نوعية مصـــابيح التفريغ عالي الجهد لكن بداخلها غاز الزينون الذى ينتج طيفا هو الأقرب إلى طيف ضوء النهار كما فى الشكل 7-31. وتتميز هذه المصابيح بصغر الحجم وشدة النصوع ولذا تستخدم بكثرة فى السيارات، كما تستخدم فى الأعمال التى تحتاج لضوء عالي جدا (سينما أو ملاعب)، ويبلغ متوسط العمر بين 1000 : 2000 ساعة، لكنه فى البيوت يستخدم منه النوعية ذات الجهد المنخفض (12 فولت فقط) بعد إضافة محول 12/220 فولت، ويعيبها أنها تتولد منها حرارة عالية.





شكل 7-31

7-7-10 مصابيح النيون

هي من عائلة مصـابيح التفريغ الغازى، وتتكون من أنابيب (قطرها من 7 إلى 15 ملم) مملوءة بغاز النيون ذى الضـغط المنخفض جدا مخلوطا بقليل من الهيليوم، ويستخدم معها محول رفع للحصول على جهد الاشتعال Ignition Voltage فى البداية، فتتوهج عندما تحدث عملية تفريغ كهربية داخلها، علما بأن غاز النيون النقي في أنبوب صـاف يُعطي ضـوءاً أحمر اللون، لكن يمكن إنتاج الضـوء في ألوان أخرى بمزج غاز النيون بغازات أخرى، أو استخدام أنابيب ملونة، أو مزيج من هاتَين الطريقتَين. ويمكن تشكيل الأنابيب بأشكال مختلفة (على شكل حروف مثلا كما فى الشكل 7-32).



شكل 7-32

7-7-11 المصابيح الموفرة



وأشهر أنواعها هو Compact Florescent Lamp CFL وتتميز بأنها تستهلك كمية صغيرة من الطاقة الكهربية لتعطى نفس كمية الضوء الصادرة من المصابيح العادية، على سبيل المثال فاللمبة CFL بقدرة 18 وات تعطى نفس كمية الضوء الصادرة من مصباح 75 وات (شكل 7-37). ويضاف إلى ذلك أن عمرها الافتراضي يصل إلى خمسة أضعاف عمر اللمبة العادية، لكن بالطبع سعرها أغلى.

7-7-12 مصابيح الـ LED

وتسمى بالدايود الباعث للضوء أو اختصارا بـ LED وهي أول حرف من كلمات Light Emitting Diodes، ولهذ LED تطبيقات عديدة في مجال الإلكترونيات وتدخل في تركيب العديد من الأجهزة الحديثة كلمبات إشارة صغيرة Indication Lamps حيث تضيء الـ LED لتعلم المستخدم أن الجهاز يعمل مثل اللمبة الحمراء التي تضيء عندما يكون جهاز التلفزيون في حالة الاستعداد أو في أجهزة الراديو عند استقبال محطة عليه وتدخل في الساعات الرقمية والريموت كنترول والتلفزيونات الكبيرة التي تستخدم كشاشات عرض كبيرة وفي إضاءة إشارات المرور.

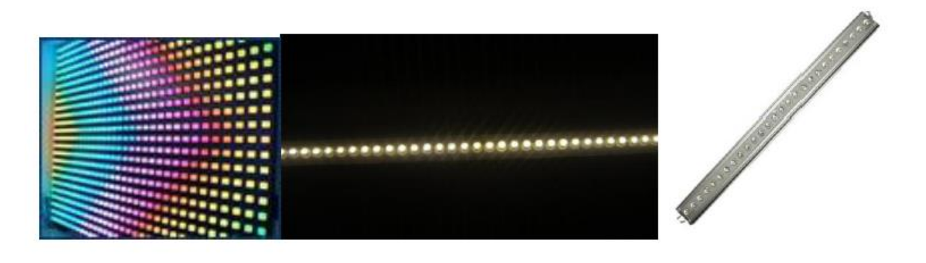
واختصارا فإن الـ LED عبارة عن لمبة ضوء إلكترونية أي لا تحتوي على فتيلة ولا تسخن كما في المصابيح الكهربية. فهي تصدر الضوء من خلال حركة الإلكترونات في داخل مواد من أشباه الموصلات semiconductor.

لكن حديثا بدأ التوسـع فى اسـتخدام هذه النوعية من اللمبات، وكثر اسـتخدمها فى التطبيقات ذات القدرة المنخفضة وخاصة فى السيارات. وتتميز بأنها تستهلك قدرا ضئيلا جدا من الطاقة، لكنها تعانى من مشكلة أن ضوءها محدد الاتجاه ولذا تستخدم أساسا كنوع من أنواع الـــ spot light، وغالبا يستخدم عدد من هذه الـ LEDs داخل المصباح فتعطى كفاءة ضوئية أعلى بكثير من اللمبات العادية ذات القدرة المماثلة (شكل 7-33).



شكل 7-33 : مصابيح الـ LED

فى بعض الأحيان يكون شكل لمبات الـــ LED على صورة خيط كما فى الشكل 7-34، علما بأن لمبات الـ LED هنا عبارة عن مربعات صغيرة مساحتها حوالى 5 x 5 mm تقريبا ومتباعدة عن بعضها بمسافات صـغيرة كما فى الصـورة المضـيئة، وهذا النوع تكون كل لمبة فيه قدرتها حوالى 1 W ويمكن أن تكون ذات ألوان منوعة كما فى الشـكل. ويصـل سـعر المتر منه إلى حوالى 50 دولار. لاحظ أن من أبرز ميزات هذا النوع من اللمبات هو أن كمية الحرارة المتولدة صغيرة جدا مقارنة مثلا بلمبات الزينون السابقة.



شكل 7-34 : أشكال منوعة للمبات الـ LED

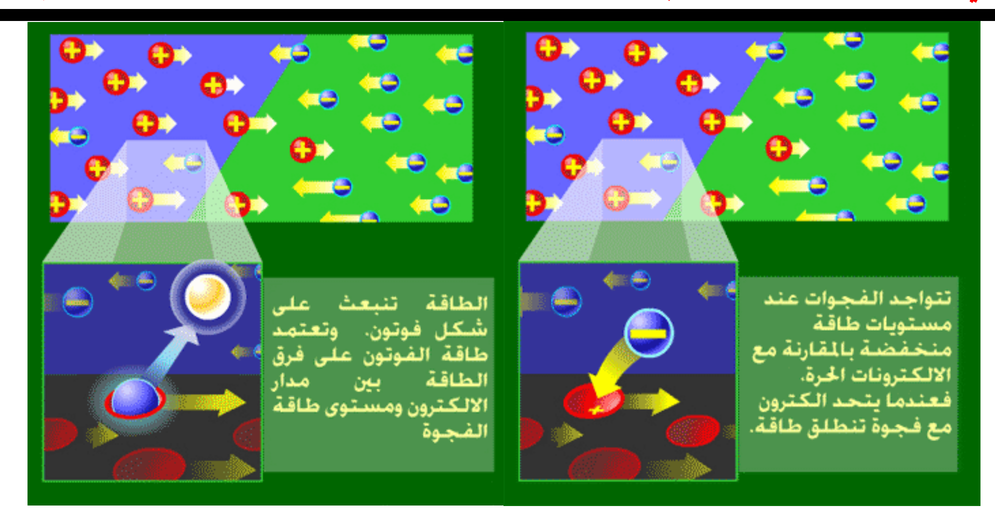
7-7-13 كيف ينتج لمبة الـ LED الضوء؟

كما ذكرنا، فإن الضوء هو عبارة عن طاقة تنتج أو تنبعث من الذرة في صورة أشباه جسيمات تسمى الفوتونات Photons تكون لها كمية حركة وكتلتها صفر. وسميت أشباه جسيمات لأن الضوء له طبيعة مزدوجة فيمكن أن يكون موجة ويمكن أن يكون جسيم.

تنطلق الفوتونات من الذرات نتيجة لحركة الإلكترونات، ففي الذرة تتحرك الإلكترونات في مدارات دائرية حول النواة، ويعتمد نصف قطر المدار على كمية الطاقة التي يمتلكها الإلكترون فكلما كانت الطاقة كبيرة كان نصف قطر المداري الإلكترون أبعد عن النواة.

وعندما ينتقل إلكترون من مدار منخفض إلى مدار أعلى فإنه يمتص طاقة خارجية ليتم الانتقال، أما في حالة عودة الإلكترون من المدار الأكبر إلى المدار الأدنى فإنه تتحرر طاقة يحملها فوتون تساوي فرق الطاقة بين المدارين. وطاقة الفوتون تتحدد بفارق الطاقة بين المداريين الذين انتقل بينهما الإلكترون وهذا يدل على أن طاقة الفوتون يمكن أن تكون متغيرة حسب المدارات التي حدثت بينها الانتقالات. والتغير فى طاقة الفوتون يعني تغير في الطول الموجي للفوتون وبالتالى فيمكن أن يكون فوتون على شكل ضوء مرئي أو ضوء غير مرئي.

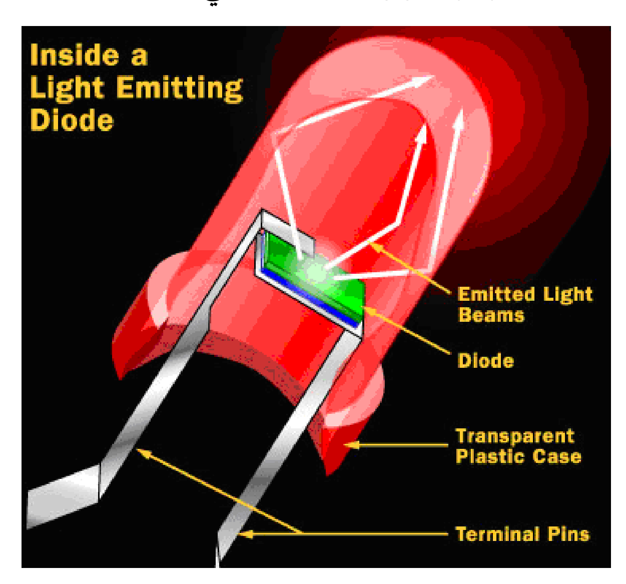
في حالة الديود P-N Junction فإن الإلكترونات الحرة تحرك عبر الـ P-N Junction في اتجاه الفجوة Hole كما فى الشكل 7-35، وهذا يعني أن الإلكترون عندما يتحد مع الفجوة كما لو أنه انتقل من مدار عالي الطاقة إلى مدار منخفض الطاقة وتنطلق الطاقة على شكل فوتون. ولكن لا نرى الفوتون المنبعث إلا اذا كان ذو طول موجي في الطيف المرئي وهذا لا يتحقق في كل أنواع الـ P-N Junction ففي الديود المصنعة من مادة السليكون يكون الفوتون المنطلق في منطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ولا يرى بالعين المجردة ولكن له تطبيقات هامة في الريموت كنترول حيث تنتقل التعليمات من الريموت كنترول إلى التلفزيون على شكل نبضات من الفوتونات تحت الحمراء يفهمها Sensor الاستقبال في التلفزيون.



شكل 7–35

وللحصول على P-N Junction تعطي ضوءا مرئيا فإنه يستخدم مواد ذات فارق طاقة أكبر بين مدار الإلكترون في المادة N والفجوة في المادة P التي تمثل المدار ذو الطاقة الأدنى. حيث أن التحكم في هذا الفارق يحدد لون الضوء المنبعث من الديود عند اتحاد الإلكترون مع الفجوة خلال الـ P-N Junction.

ورغم أن كل أنواع الديودات تعطي ضوء إلا أن جزءا من هذا الضوء يعاد امتصاصه داخل وصلة الديود، وبعض الـ LEDs تصمم بحيث يتم توجيه الضوء إلى الخارج من خلال مادة بلاستيكية على شكل مصباح شبه كروي كما في الشكل 7–36 لتركيز الفوتونات المنطلقة في اتجاه محدد.



شكل 7–36

وعموما، فإن لمبات الـــ LED أصبحت الأهم لأنه لا يصدر عنها حرارة عالية واستهلاكها المنخفض جدا للطاقة، ومتوافرة بأشكال وألوان متعددة، حتى أنها تنتج الآن بنفس شكل لمبات الفلورسنت.



شكل 7-37

7-7-14 ظاهرة الارتعاش Flicker

حيث أن المصباح يتغذى من مصدر تيار متردد، وكما هو معروف فإن القدرة تتناسب مع ضعف قيمة التردد، أى أن ($P \alpha 2F$). ولحسن الحظ فعين الإنسان لا تلحظ هذا التردد السريع على الأجسام الثابتة، لكن إذا وجد شـــئ متحرك (مروحة مثلا) فقد تظهر لـه بعض الخيالات فيما يعرف باسم التأثير الاستروبوسكوبى Stroboscopic Effect. وأحيانا ترى المروحة وكأنها تدور بسرعة بطيئة عكس الاتجاه وهى الظاهرة المعروفة باسم الارتعاش Flicker.

ويمكن خفض هذا التأثير داخل الغرفة وذلك بتوصيل المصابيح داخل الغرفة الواحدة على Phases مختلفة وليس على نفس الـ Phase حيث يتسبب الـ Phase shift بين أى Two phases بإلغاء هذا التأثير. أما إذا كان لدينا Phase واحد فقط للتغذية وأردت فى نفس الوقت أن تلغى هذه الظاهرة فعليك بتوصيل مصباحين فى الغرفة على نفس الـ Phase ولكن بعد إضافة Inductance لأحدهما حتى يعطى Phase Shift بين الإضاءتين.

7 -8 الإضاءة الداخلية

أول نقطة يجب أن تراعى فى التصميم الجيد للإضاءة الداخلية Interior Lighting هو التعرف على طبيعة استخدام الغرفة، و الأنشطة المتوقع ممارستها داخلها، كذلك يتعين علينا النظر في أمور أخرى كشكل وحجم الغرفة المراد تصميم مخطط الإضاءة لها وطريقة توزيع قطع الأثاث داخلها. ولذلك، ففي البداية يستخدم المخطط الهندسي في تحديد مواضع قطع الأثاث الهامة و التعرف على عدد المقابس (البرايز) والمفاتيح الكهربية اللازمة ومكان كل منها لتأمين أفضل نظام تحكم فى منظومة الإضاءة، ثم يستخدم المصمم الأنواع المتعددة من طرق الإضاءة وكذلك الأنواع المختلفة من وحدات الإضاءة لتحقيق أهدافه. وأهم الأساليب المستخدمة فى الإضاءة الداخلية:

- إضاءة عامة General Lighting : هي التي تضيء المكان و تحقق الضوء العام للغرفة.
- إضاءة مركزة (Spot) : هي التي تعطي مزيداً من الضوء المباشر لمراكز العمل و النشاط في الغرفة.
- إضاءة موجهة (Objective) : هي التي تستخدم لتبرز النقاط الجمالية في المكان و تلفت النظر إليها كالتحف أو اللوحات أو الديكورات الإنشائية.

وقد أصبحت الإضاءة المركبة أو المختلطة هي الأكثر قبولاً في الإضاءة الداخلية، الأمر الذي يتطلب تعاوناً بين مهندس الإضاءة ومهندس الديكور من أجل توفير بيئة داخلية مفيدة ومريحة.

و في إضاءة المنازل عموما، ما يزال الضوء المركزي المتدلي من السقف، وسواء كان مصباحاً مفرداً أو ثريا متعددة المصابيح (نجفة) ، هو الأسلوب الأكثر شيوعاً في إضاءة المنازل العادية، وغالباً ما يكمله ضوء قائم في أحد الزوايا (أباجورة) . ويعد هذا الأسلوب من أفضل الطرق المعتمدة لراحة البصر وأكثرها اقتصاداً، إذ تكون العين أكثر فاعلية وأقل إجهاداً عندما تكون الإضاءة في مكان العمل (عند القراءة مثلاً بجوار الأباجورة) أكثر بقليل منها فيما يحيط بذلك المكان.

أما عن قيمة شدة الاستضاءة فيمكن الاسترشاد بالقيم التالية:

1- حجرة المعيشة : يلزمها شدة استضاءة تتراوح من 200 إلى 400 لوكس حيث يتنوع فيها النشاط من جلوس أو مناقشة إلى أعمال دقيقة مثل القراءة.

2- حجرة النوم : يلزمها شدة استضاءة تتراوح من 60 إلى 80 لوكس للإضاءة العامة بخلاف إضاءات محلية خاصة.

3- المطبخ : يلزمه شدة استضاءة تتراوح من 20 إلى 50 لوكس للإضاءة العامة بخلاف إضاءة محلية تتراوح من 50 إلى 100 لوكس فوق كل من منضدة التحضير والبوتجاز والحوض.

4- الحمام : يلزمه شدة استضاءة تتراوح من 50 إلى 100 لوكس للإضاءة العامة كما توجد إضاءة خاصة على جانبى المرآة.

5- الطرقات : يلزمها شدة استضاءة تتراوح من 20 إلى 40 لوكس للإضاءة عامة.

ويعتبر تصميم الإنارة في غرفة النوم تحدياً لمهندس الديكور والكهرباء نظراً لتنوع الأنشطة داخلها، و احتياج كل منها لنوع مختلف من الإضاءة، فالقراءة فوق السرير مثلاً تتطلب توفير إضاءة مريحة و مصممة بعناية بحيث تؤدي الوظيفة و تعطي الجمال المطلوب منها وقد يفضل البعض إمكانية التحكم في شدتها (بواسطة Dimmer) بحيث تستخدم لغير القراءة أيضا و آخرين يفضلون أن تكون قابلة للتحريك بحيث يكون لها ذراع خاص يحقق تلك الرغبة، كما أن التسريحة و المرآة على وجه الخصوص بحاجة لإضاءة جيدة، و كذلك غرفة الملابس تحتاج لإضاءة تسمح باختيار الألوان بشكل صحيح و مناسب.

7-9 إضاءة الطرق

أهم متطلبات إضاءة الطرق ليلا هي الارتقاء بعوامل الأمان ولتوفير الرؤية الكافية، و قد أوضحت الإحصائيات أن الطرق المضاءة إضاءة مناسبة تقل بها حوادث المرور و الجريمة و تنشط فيها الأعمال التجارية. وتوجد عدة عوامل تشارك في تحديد مستوى الاستضاءة المطلوبة بالطرق، ومن أهم هذه العوامل اعتبارات الأمان بالطرق، و حجم حركة مرور السيارات و المارة، فكلما زاد حجم المرور زادت نسبة التعرض للحوادث و تصبح الرؤية الغير جيدة مصدرا لارتباك حركة المرور والمارة.

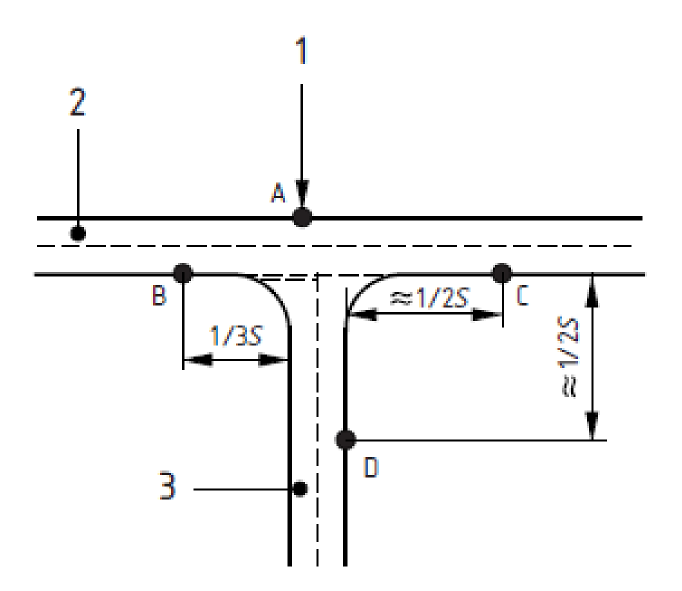
وقد عرفت شوارع المدن الكبرى الإضاءة منذ قرون، وكان الناس في القاهرة القديمة مثلا في العصر المملوكي يلزمون بوضع مصابيح على أبواب دورهم، وشاع استعمال مصابيح الغاز في عواصم العالم منذ أواخر القرن التاسع عشر ثم حلت محلها مصابيح القوس الكهربية فالمصابيح المتوهجة. ومع تطور صناعة السيارات وازدياد حركة المرور على الطرق ليلاً اكتسبت إضاءة الشوارع أهمية جديدة وتطلب الأمر استعمال مصابيح شديدة التوهج كمصابيح بخار الزئبق والصوديوم.

7-9-1 أين يوضع عمود الإنارة؟

1- يجب أن تكون الإضـــاءة عند التقاطعات أعلى فى مســتوى الاســتضـــاءة منها على طول الطريق، ويفضــل أن يكون لون اللمبات عند التقاطعات بلون مختلف عن لون إضـــاءة الشــوارع الطويلة حتى يستطيع القادم من بعيد أن يتهيأ لاقترابه من التقاطع فيبطئ من سرعته.

2- التقاطعات بأشكالها المختلفة سواء الـــــ T أو غيرها يجب أن تتم توزيعات الإضاءة فيها طبقا للقواعد الموضحة فى الأشكال من شكل 7-38 إلى شكل 7-42:

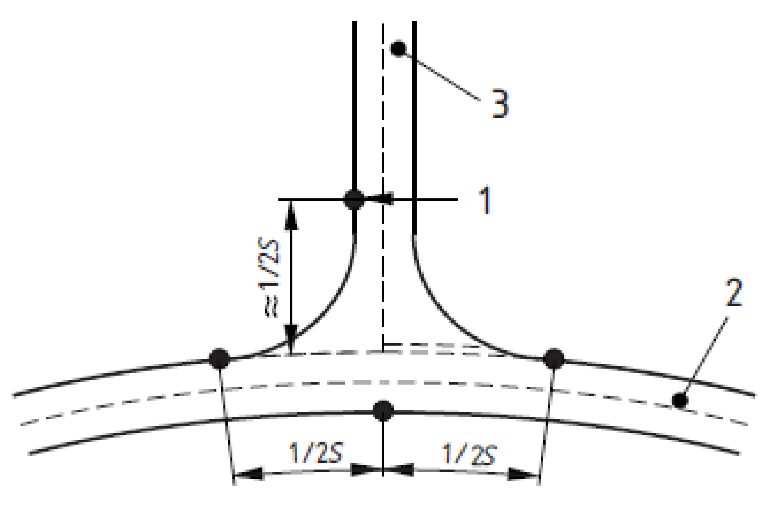
(عرض الشارع الرئيسي (الشارع رقم 2) في كل الأشكال التالية هو S)



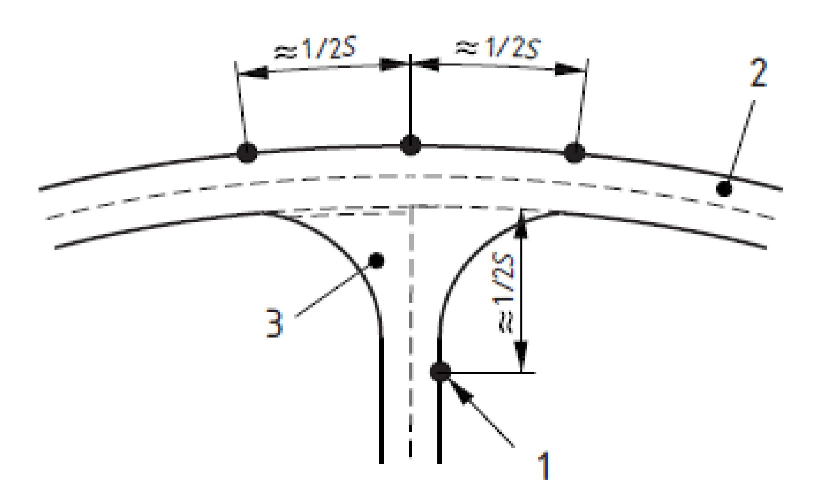
Key
1 Luminaire positions
2 Major road
3 Minor road
NOTE The design spacing *S* relates to the major road.

Figure J.1 — T-junctions on straight roads

شكل 7- 38 : توزيع الإضاءة في تقاطع T في طريق مستقيم.



a) T-junction with minor road on outside of bend



b) T-junction with minor road on inside of bend

Key

1 Luminaire positions

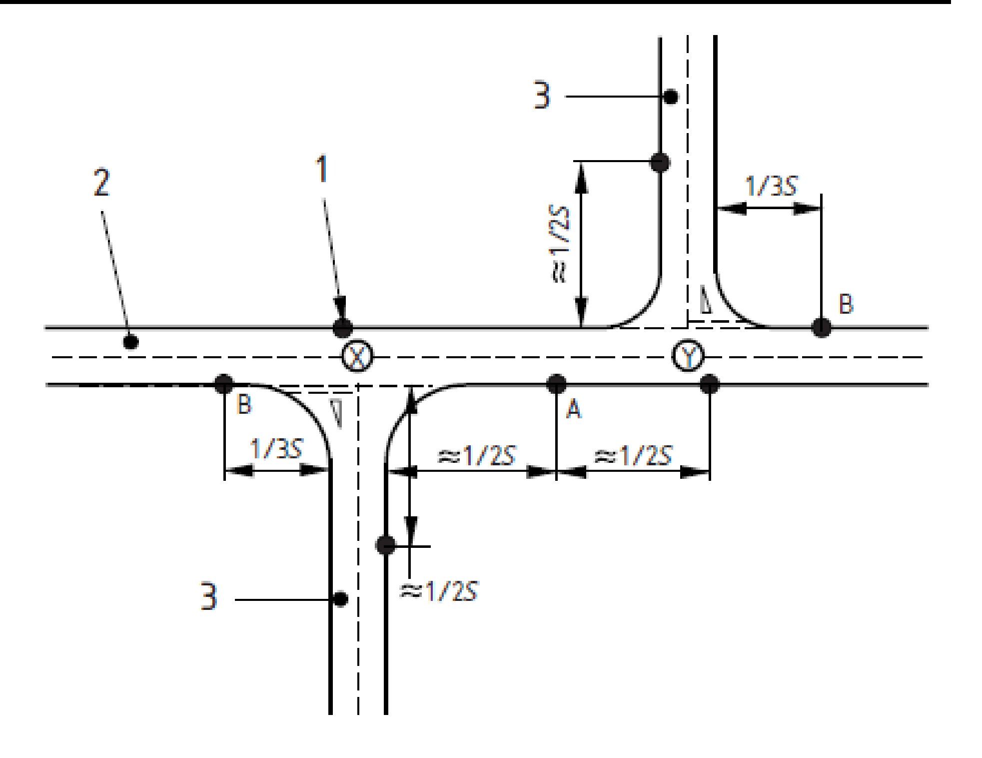
2 Major road

3 Minor road

NOTE The design spacing S relates to the major road.

Figure J.2 — T-junctions on bends

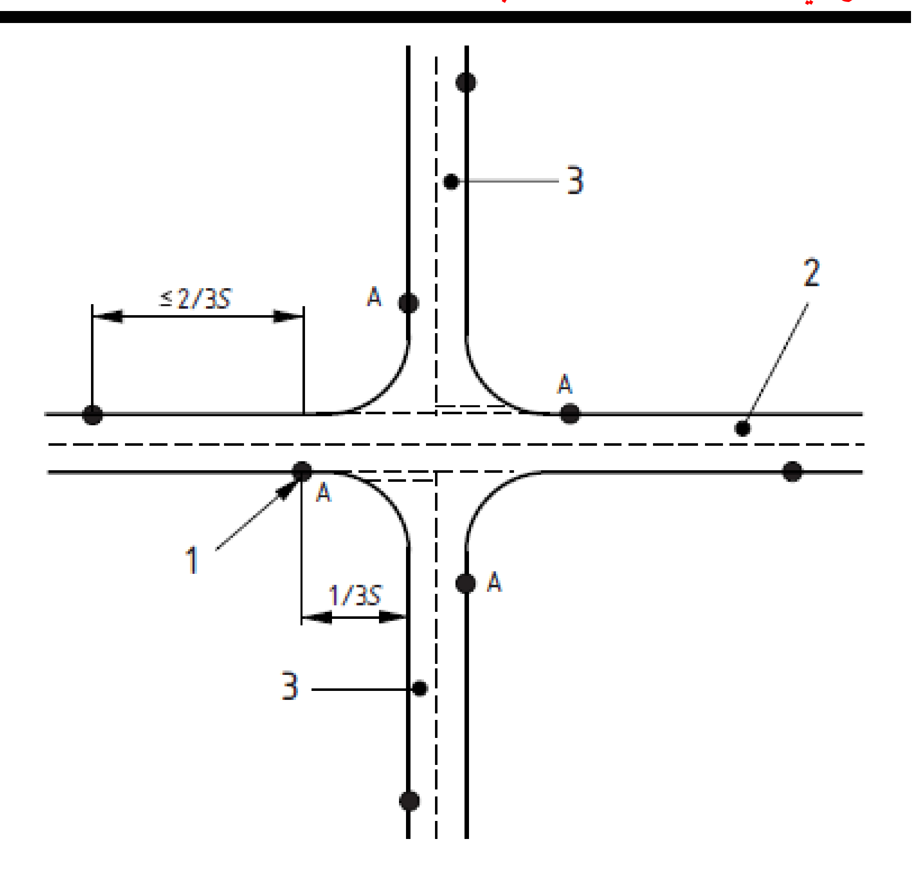
شكل 7– 39 : توزيع الإضاءة في تقاطع T في طريق منحني.



Key
1 Luminaire positions
2 Major road
3 Minor road
NOTE The design spacing S relates to the major road.

Figure J.3 — Staggered junctions

شكل 7- 40 : توزيع الإضاءة في تقاطع متداخل.



Key

1 Luminaire positions

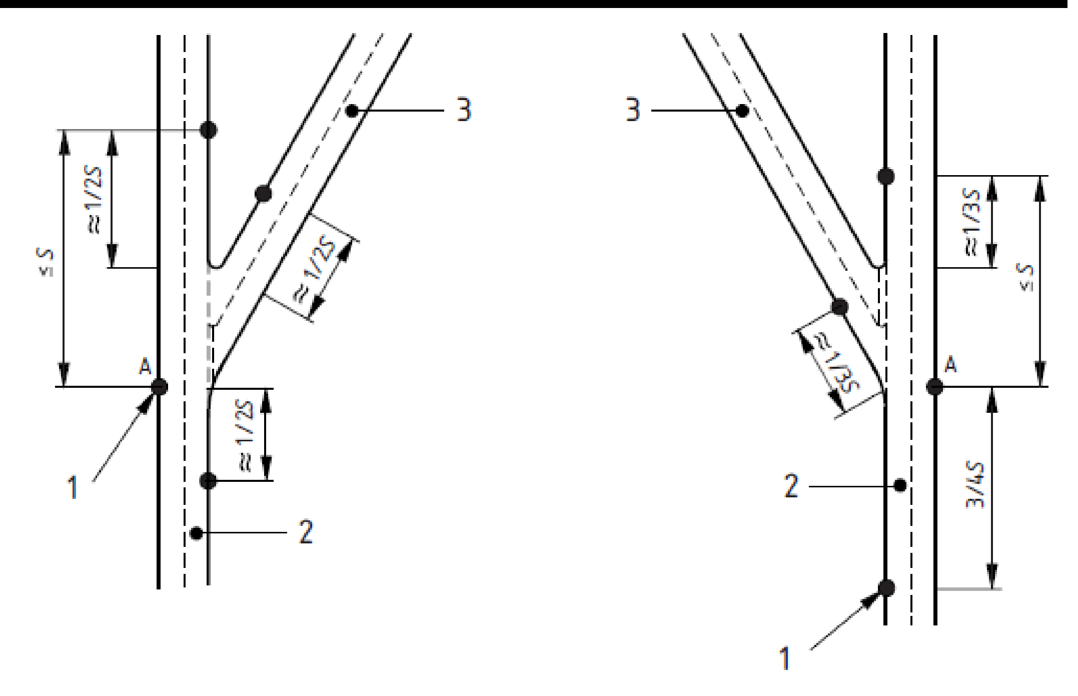
2 Major road

3 Minor road

NOTE The design spacing S relates to the major road.

Figure J.4 — Crossroads

شكل 7- 41 : توزيع الإضاءة في مفترق طرق.



a) Y-junction with minor road on the right

b) Y-junction with minor road on the left

Key

1 Luminaire positions

2 Major road

3 Minor road

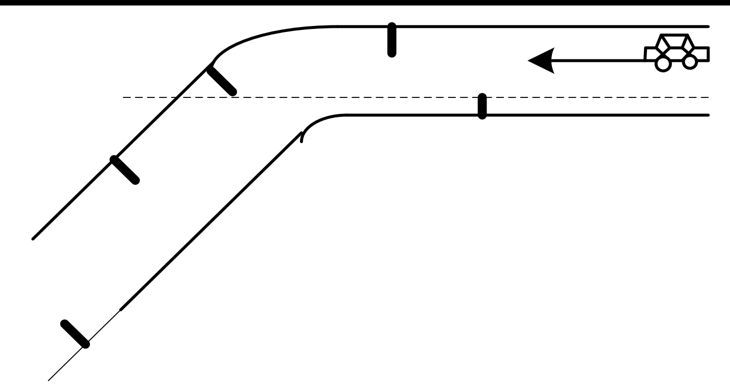
NOTE The design spacing *S* relates to the major road.

Figure J.5 — Y-junctions

شكل 7- 42 : توزيع الإضاءة تقاطع علي شكل حرف Y.

3- ويفضــل أيضــا أن يتم تعليق وحدات الإنارة بطريقة مختلفة عند التقاطعات من أجل مزيد من التمييز كأن تكون الأعمدة عالية بدرجة أكبر مثلا مع اســتخدام عدد أقل حتى لا يضــطرب المشــهد عند التقاطع.

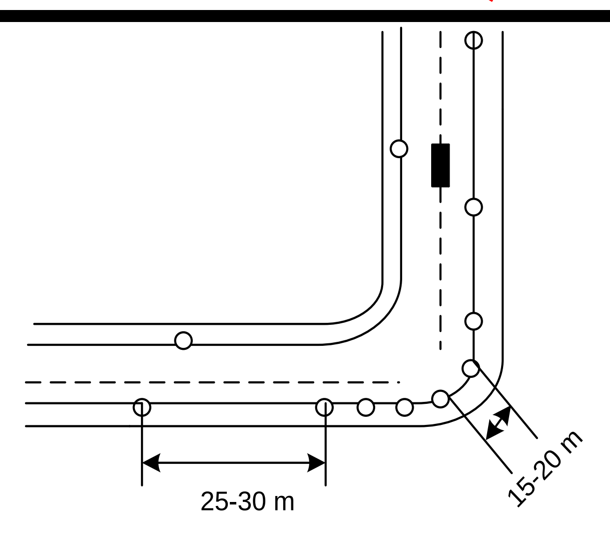
4- اذا كان عرض الشارع أقل من مرة ونصف ارتفاع العمود فيجب أن توضع أعمدة الإنارة على المنحنى الخارجي فقط كما في الشكل 7-43.





شكل 7-43 : وضع الأعمدة على المنحنى الخارجي للطريق

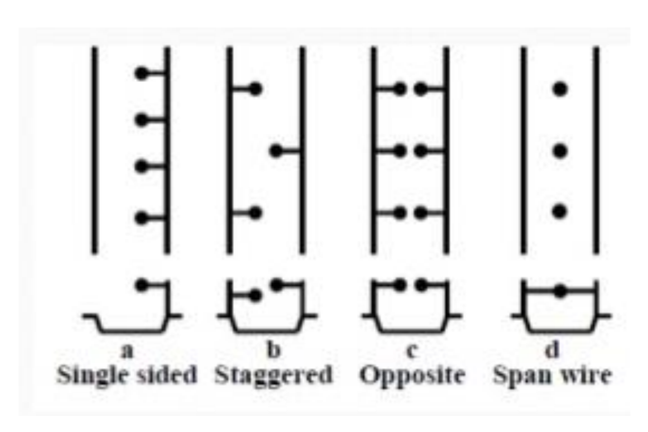
5- كلما ضاق نصف القطر لمنحنى الطريق عند أى التفاف كلما وجب أن تكون المسافة بين الأعمدة فى المنحنى أصغر من المسافة التى كانت موجودة فى الطريق الطولى قبل المنحنى، ويفضل أن تكون نصف المسافة أو ثلاثة أرباعها مع ضرورة وضع الأعمدة فقط على المنحنى الخارجى للدوران كما فى الشكل 7-44.



شكل 7-44 : زيادة الإضاءة عند المنحنيات

6- توضع الأعمدة فى الشوارع الطولية بطرق تختلف حسب عرض الشارع كما فى الحالات التالية:

أ. إذا كان عرض الشارع أقل من ارتفاع العمود فيجب أن توضع الأعمدة على جانب واحد (شكل 7 - 45- a)



شكل 7-45

ب. إذا كان عرض الشـارع مرة إلى مرة ونصـف من ارتفاع العمود فتوضـع الأعمدة بطريقة خلف خلاف Staggered (شكل 7 - 45- b) .

ج. إذا كان عرض الشارع أكبر من مرة ونصف ارتفاع العمود فتوضع الأعمدة متقابلة Opposite (شكل 7 – 45- c) .

د. إذا وجدت جزيرة فى وسط الشارع فيجب وضع الأعمدة داخلها (شكل 7 – 45- d) .

هـ. ويجب ألا تزيد المسافة الفاصلة بين كل عمود وآخر على 4-5 أضعاف ارتفاع هذا العمود.

7- وفى المواصفات الأمريكية تكون الإضاءة على أحد الجانبين إذا كان عرض القسم المخصص للمرور أقل من 12 متراً، وتكون الإضاءة على محور الشارع إذا لم يزد عرضه على 18 متراً وتصبح الإضاءة لازمة على كلا الجانبين عندما يصل العرض إلى 48 متراً.

7-9-2 مستويات الإضاءة فى الشوارع

مستويات الإضاءة فى الشوارع يحسمها أهمية الشارع، فالطريق الهام تكون مستوى الاستضاءة فيه تتراوح بين Lux 8-16، بينما الطريق الأقل أهمية تكون مستوى شدة الاستضاءة فيه تتراوح بين Lux 8-4، وأما الطريق الفرعى تكون مستوى الاستضاءة فيه تتراوح بين Lux 2-4.

7-9-3 ارتفاع العمود ونوع وقدرة المصباح

يتوقف ارتفاع العمود وقدرة اللمبة على درجة أهمية الشارع مروريا، فأعلى المستويات ستكون على الـــــ High Ways بينما ستكون أقل المستويات فى الشوارع السكنية الضيقة. ويمكن الاسترشاد بالقيم التالية فى الجدول 7- 7، والمعتمدة فى الكود الكويتى عند اختيار الأعمدة واللمبات، وبالطبع يجب الرجوع للمواصفات الخاصة ببلدك عند التصميم النهائى.

جدول 7- 7 : ارتفاع العمود وقدرة اللمبة

نوع الشارع	ارتفاع العمود	نوع اللمبة (وقدرتها)
الطرق السريعة	30 متر	الصوديوم (2000W)
الشوارع الرئيسية	20 متر	الزئبق (1000W)
الشوارع العامة	8-12 متر	ميتالهاليد (250-400 W)

الطرق الداخلية	4 -6 متر	ميتالهاليد (80-100 W)

4-9-7 ارتفاع العمود وشدة الإضاءة

من الواضح من قانون حساب شدة الاستضاءة عند نقطة

$$E_B = \frac{I}{h^2}\cos^3\theta_1 ....7-17$$

أنها تتوقف على قوة إضـــاءة المصـــباح I، وتتوقف على ارتفاع العمود h وعلى بعد النقطة الأفقى عن العمود، أى بمعنى آخر، تتوقف على طريقة توزيع شدة الإضاءة والمعروفة بالـــ Polar Curve. ومن ثم فكلما ازداد ارتفاع العمود سنكسب أشياء ونفقد أشياء أخرى : سنكسب أن الضوء سيصير موزعا على مسافة أفقية أكبر ومن ثم ستزيد المسافة بين كل عمودين ولكن ستضعف شدة الاستضاءة عند أى نقطة بسبب زيادة h، لكننا سنكسب أيضا أن الزغللة ستقل لأن العمود صار مرتفعا وكذلك سيقل طول ظل الإنسان على الأرض وهذه نقطة مهمة لاسيما فى ملاعب الكرة الليلية.

ومن ثم فنحن في موازنات بين متناقضات حتى نصل للارتفاع الأمثل للعمود، وحاليا تقوم البرامج الجاهزة مثل DiaLux بهذه الحسابات بسرعة وكفاءة لاسيما إنه عند إضاءة الطرق سيدخل فى الحساب عوامل أخرى منها سرعة الطريق وأهميته وعدد الحارات به، وهل هناك عبور للمشاة pedestrians به أم لا وهل هناك حارة للدرجات bicycle lane أم لا، وما هى درجة البلل عليه (هل هناك مثلا مطر دائم فيسبب انعكاس للضوء فى أعين السائقين) إلخ.

وقد يدخل فى الحساب الطبيعة الجغرافية للتقاطع، فوجود كبارى عالية، أو أنفاق مفتوحة مثلا قد تتسبب فى انخفاض مستوى الطريق عن جزء منه مما يستدعى رفع طول العمود.

الفصل الثامن

إستلام الأعمال الكهربية

8

الفصل الثامن

استـــــــــلام الأعمال الكهربيـــــــــــة

بعد الانتهاء من التركيبات الكهربية أو بعد إجراء أى تغيرات جوهرية فى التركيبات القديمة يجب أن يتم التأكد من صـلاحية الشـبكة للعمل قبل توصـيل التيار إليها. ومن الطبيعي فإن التركيبات الكهربية – مهما كانت درجة جودتها – فهناك احتمال – ولو بسـيط – لوجود أخطاء بها، أكثرها غير مقصـود، وبعضـها بسـبب الأعمال الإنشـائية للبناء، مثل دخول مسـمار داخل الكابل أو تعرض عازل أحد الأسـلاك للتلف بسـبب طرقه أو ثنيه بشـدة، أو احتمال حصـول قطع فى أحد أماكن الربط، أو إهمال فى تثبيت أو تركيب أحد الكابلات، فضـلا عن احتمال العطل الذى يلحق بالمعدات الكهربية نفسـها بسـبب خلل إما من منشـأ صـناعتها أو بسبب الشـحن والنقل والتخزين. ولا يخفى على القارئ أهمية أن نقوم بالكشـف على التركيبات واختبارها قبل تزويد المستهلك بالكهرباء.

والمجهود الضـخم الذى بذله فريق الأعمال الكهربية فى مرحلتى التصـميم والتنفيذ قد يصـبح هدرا بسـبب إهمال المهندس المسـئول عن اسـتلام الأعمال، أو بسـبب قلة خبرته، فهو لا يعلم ماذا يسـتلم ولا كيف يستلم؟. وهذا الفصل مقسم إلى ثلاثة أجزاء تمثل مراحل الاستلام الثلاثة :

- مرحلة المعاينة.
- مرحلة الاختبار.
- مرحلة الاستلام النهائي.

وتسمى عملية المعاينة فى بعض الدول بـــ "التفتيش على المهمات الكهربية ". وعموما فالمقصود بالمعاينة أو التفتيش هو ملاحظة الأجهزة والمعدات باستخدام اللمس أو النظر فقط وكشف العيوب الظاهرة فيها دون استخدام أدوات اختبار ودون توصيل تيار.

أما مرحلة الاختبار فيقصد بها كشف أخطاء توصيل الأجهزة والمعدات باستخدام أجهزة اختبار وفى وجود تيار كهربى.

وأخيرا، نقصد بمرحلة الاستلام النهائى أن نراجع الكميات والمواصفات الواردة بالعطاء مراجعة دقيقة حيث ستتم المحاسبة المالية النهائية بناء على مستخلصات هذه المرحلة. وسنرجع فى عمليات المعاينة والاستلام إلى الكود المصري تحديدا.

وكما ذكرنا، فإنه يجب فحص واختبار التركيبات الكهربية عند الانتهاء منها وقبل توصـــيل التيار الكهربي بغرض التشـــغيل، وذلك للتأكد من تحقيق المتطلبات الواردة فى الكود والعطاء، ويراعى تزويد الأشـــخاص القائمين بالمعاينة والاختبارات بالرســـومات التخطيطية والبيانات اللازمة. ويجب اتخاذ كافة الاحتياطات أثناء المعاينة والاختبارات لتلافى حدوث أية أخطار للأشـخاص أو المهمات المركبة Equipment، وعلى أن يؤخذ فى الاعتبار احتمال وجود خلل فى بعض الدوائر موضوع المعاينة والاختبار.

8-1 مرحلة معاينة الأعمال الكهربية

تتم المعاينة بدون توصيل التيار وذلك للتحقق من توافر المتطلبات العامة التالية:

1- تحقيق اشـــتراطات الأمان للمعدات المركبة (ويمكن التأكد من ذلك بمعاينة بطاقة بيانات المهمات Equipment Nameplate، أو من واقع الشهادات المعتمدة الصادرة من الشركات الصانعة).

2- تحقيق جودة تركيب المهمات.

3- التأكد من عدم وجود أية عيوب أو أضرار مرئية قد تعيب التشغيل المأمون.

ويجب أن تشمل المعاينة التحقق من النقاط التالية كحد أدنى:

- مراجعة الطريقة المستعملة للوقاية ضد التلامس المباشر مع الكهرباء (مثل استعمال الحواجز أو الحوائل أو وضع الأجزاء المكهربة خارج نطاق متناول اليد)، على أن يتم قياس المسافات المنفذة فعلاً لتحقيق الوقاية.
- توافر حواجز الحريق Fire Barriers، والاحتياطات الأخرى ضد انتشار الحريق والحماية ضد التأثيرات الحرارية.

- ضبط أجهزة الوقاية على القيم المناسبة لضمان الفصل التلقائى لمصدر التغذية عند حدوث أية أحوال غير عادية.
- توافر أجهزة الفصل والتوصيل، على أن تكون مركبة فى المواضع المناسبة وعدم توصيلها في موصل التعادل.
- سلامة توصيل مخارج المقابس (البرايز) ودوى المصابيح.
- تمييز وترقيم الدوائر والفيوزات والمفاتيح وأطراف النهايات وخلافه.
- جودة توصيل نهايات الأسلاك.
- إمكانية الوصول إلى كل المعدات بحيث يسهل تشغيلها وصيانتها.
- توافر رسومات التوصيلات الكهربية وبطاقات بيانات المعدات Nameplates، وعلامات التحذير والتعليمات الأخرى المثيلة.
- التأكد من أن جميع أقسام المعدات قد تم توصيلها بالقطب الأرضي بالتركيبات Earthing terminal وأن جميع الأجزاء المعدنية قد تم تأريضها بالطريقة الصحيحة.

لاحظ في جميع ما سبق لا تحتاج إلى أجهزة بل مجرد فحص بالنظر أو اللمس كما ذكرنا.

8-2 مرحلة الاختبارات

8-2-1 أجهزة الاختبارات

قبل الدخول في تفاصيل هذه المرحلة نستعرض بعضا من الأجهزة المستخدمة فى اختبارات الدوائر الكهربية، ومنها على سبيل المثال:

1- الأفوميتر (AVO)

وهو جهاز شامل يمكنه قياس الجهد والتيار والمقاومة، حيث يستخدم كأوميتر بكثرة لاختبار سلامة الموصلات وعدم إصابتها بقطع Open Circuit، أو تماس Short Circuit مع الأرضي. كما يستخدم كأفوميتر لقياس جهد BB معين فى لوحة التوزيع أو جهد نقطة ما.



2- منظومة الجرس أو المصابيح بالبطارية

وهو جهاز بدائى سهل العمل والاستخدام، ويتكون من بطارية جافة وجرس أو مصباح متصلين جميعا على التوالى. والغرض من هذا الجهاز البسيط هو التنبيه عن طريق السمع أو النظر إلى اكتمال الدائرة الكهربية أو عدمه. ويستخدم مع الجهاز أسلاك فحص طويلة حيث يربط الجهاز بين طرفى الموصل المراد اختباره فيرن الجرس أو يضيئ المصباح إذا كان الموصل المفحوص بالفعل سليما. ويمكن كذلك بهذا الجهاز فرز الأسلاك وتمييزها و ترقيمها لتسهل عملية ربطها خاصة إذا كانت ذات ألوان متشابهة. ويستخدم هذا الجهاز كذلك فى اكتشاف ما إذا كان هناك أى اتصال غير مرغوب فيه مع الأرض أو مع بقية الأسلاك بسبب انهيار العازل.

3- مبين الجهد Voltage Indicator

وهو البديل الأرقى والأدق لمنظومة الجرس أو المصابيح الكهربية (شكل 8-1) ، خاصة إنه يصلح للجهود العالية التى لا يصلح معها هذه الوسائل البسيطة. ويستخدم للتأكد من وجود / عدم وجود جهد على الكابل أو الـ BB.



شكل 8-1 : مبين الجهد Voltage Indicator

4-جهاز ميجر Megger

وهو عبارة عن مولد يولد AC Volt تصل قيمته إلى حوالى (1000) فولت، ويستخدم الميجر أساسا لقياس المقاومة العالية وفحص مقاومة عوازل الأسلاك. والنوع الأحدث منه يظهر فى الشكل 8-2.



شكل 8-2 : أشكال الـ Megger

5- جهاز اختبار استمرارية موصل الأرضي

هناك أجهزة حديثة تجعل من الممكن التحقق من استمرارية موصل الأرضي Earth Conductor وليس لقياس قيمة الأرضي وذلك بجهاز بسيط كما فى الشكل 8-3، حيث يوصل بالجهاز الاطراف الثلاثة للـ Socket، ويعطى الجهاز إشارات ملونة و قراءات متعددة للدلالة على استمرارية خط التعادل، و للدلالة على توصيل الـ Phases، بالإضافة إلى إشارة للدلالة على استمرارية موصل الأرضي وقيمة تقريبية لقيمة مقاومة الأرضي مقاسة من أى نقطة بالمبنى (القراءة تشمل مقاومة المنظومة + الأسلاك حتى نقطة القياس).



شكل 8-3 : بعض أشكال Earth Continuity

6- مقياس شدة الاستضاءة

من ضمن الأجهزة الواجب وجودها مع المهندس عند استلام الأعمال الكهربية جهاز الـ Lux meter ويستخدم فى التأكد من أن مستويات الإضاءة فى الغرف المختلفة مطابقة للمواصفات. والشكل 8-4 تمثل أحد أشكال هذا الجهاز.



شكل 8-4 : أحد أشكال الـ Lux Meter

7- متتبع الدوائر Circuit Tracer

وهو جهاز مفيد فى استلام الأعمال ويمكن بواسطته تحديد مثلا الـــــ CB الذى يغذى Socket معينة أو لمبة معينة. وهو مكون من جزأين : الأول يوضع فى الـــــSocket فيسحب تيارا له تردد مرتفع، ومن ثم حين تمر بالجزء الثاني على الـــــ CBs الموجودة بلوحة التوزيع فلابد أن واحدا فقط من هذه الـــــ CBs سيتسبب فى صدور صفير معين، مما يدل على أنه الـــــ CB المغذى لهذه الـــــ Socket. ويستخدم هذا الجهاز أيضا فى تتبع مسارات الكابلات والأسلاك بنفس الطريقة السابقة.



شكل : 8-5 : متتبع الدوائر.

8-2-2 أهم الاختبارات في مرحلة الاستلام

يجب إجراء الاختبارات التالية (طبقاً للكود المصرى) وبنفس الترتيب:

(1) اختبار استمرارية موصلات الدوائر Conductor Continuity.

(2) اختبار استمرارية موصلات الوقاية Earthing Conductors شاملة موصلات Equ-potential.

(3) اختبار مقاومة قطب التأريض Earthing terminal.

(4) اختبار مقاومة العزل.

(5) اختبار عزل المهمات التي تم تجميعها فى الموقع.

(6) اختبار جودة العزل بين الدوائر.

(8) اختبار عزل الأجسام غير الموصلة.

(9) اختبار تحديد القطبية Polarity.

(10) تحديد أو قياس Earth loop impedance بأحد الطرق الواردة بالكود.

(11) اختبار أداء أجهزة الوقاية التى تعمل على مبدأ Residual Current أو أجهزة Earth Leakage.

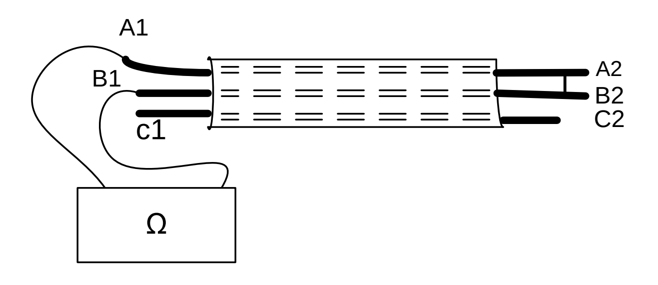
فى حالة فشل التركيبات الكهربية فى اجتياز أى من الاختبارات السابقة نتيجة لخطأ معين، فإنه يجب تصحيح هذا الخطأ ثم إعادة إجراء هذا الاختبار بالإضافة إلى أية اختبارات سابقة محتمل أن تكون نتائجها قد تأثرت بتواجد هذا الخطأ.

وسنعرض هنا لطرق إجراء بعض من هذه الاختبارات، ويمكن الرجوع لكود دولتك لمراجعة كل هذه الاختبارات.

8-2-3 اختبار استمرارية أسلاك الموصلات

نقوم بهذا الاختبار للتأكد من استمرارية التوصيلات، ولضمان سلامة وصحة الربط، وذلك بواسطة أوميتر أو جرس يعمل ببطارية مع استخدام أسلاك طويلة.

فمثلا عند اختبار استمرارية الـ Phases الثلاثة للكابل فى الشكل 8-6 فيمكن أن يربط الجهاز بين النقطتين A1، B1 مع عمل Short بين النقطتين A2 B2، فإذا كان هذان الموصلان سليمين فعندها يعطى الجهاز مقاومة قليلة جدا، ويكرر الاختبار على الموصلات الأخرى.



شكل 8-6 : اختبار استمرارية التوصيل

ويمكن استخدام الجهاز التالى لفحص استمرارية الأسلاك أثناء توصيلها بمصدر الكهرباء، حيث يثبت طرفه على الأرضى أو الـ Neutral ثم تنقل الطرف الآخر بين النقاط التي تريد فحصها.



8-2-4 قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات الكهربية

بعد الانتهاء من التركيبات الكهربية في المباني وقبل إطلاق التيار بها يجب قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات للتأكد من عدم إصابة هذا العزل بأية أضرار أثناء تمديد الأسلاك في المجاري الخاصة بها وللتأكد أيضا من صحة الوصلات التي استخدمت في ربط الدوائر الفرعية بالدوائر العمومية

ومن صــحة تنفيذ نهايات الأســلاك وربطها بالمخارج بمختلف أنواعها. ولهذا الغرض يســتخدم جهاز قياس مقاومة العزل (الميجر) والذى يعمل بجهد مستمر DC Voltage قدره 500 فولت.

ويلاحظ أنه من الضــروري قبل إجراء هذه القياســات فك جميع اللمبات، وفصــل جميع الأجهزة الكهربية والإلكترونية من المخارج المخصــصــة لتغذيتها حتي لا نعرضــها لجهد الاختبار، وحتى تكون المقاومة الوحيدة الموجودة بين خط الــ Phase وخط التعادل أو بين خط الــ Phase و خط الأرضي الوقائي هي مقاومة عزل الأسلاك.

ويتم عادة إجراء ثلاثة قياسات هى :

- قياس مقاومة العزل بين أى سلك من الموصلات (Phases) وبين الأرضي.
- قياس مقاومة العزل بين الـ Phases وبعضها البعض.
- قياس مقاومة العزل بين الـ Phases و الـ Neutral.

ويوضح الشكل 8-7 كيفية إجراء هذا الاختبارات.

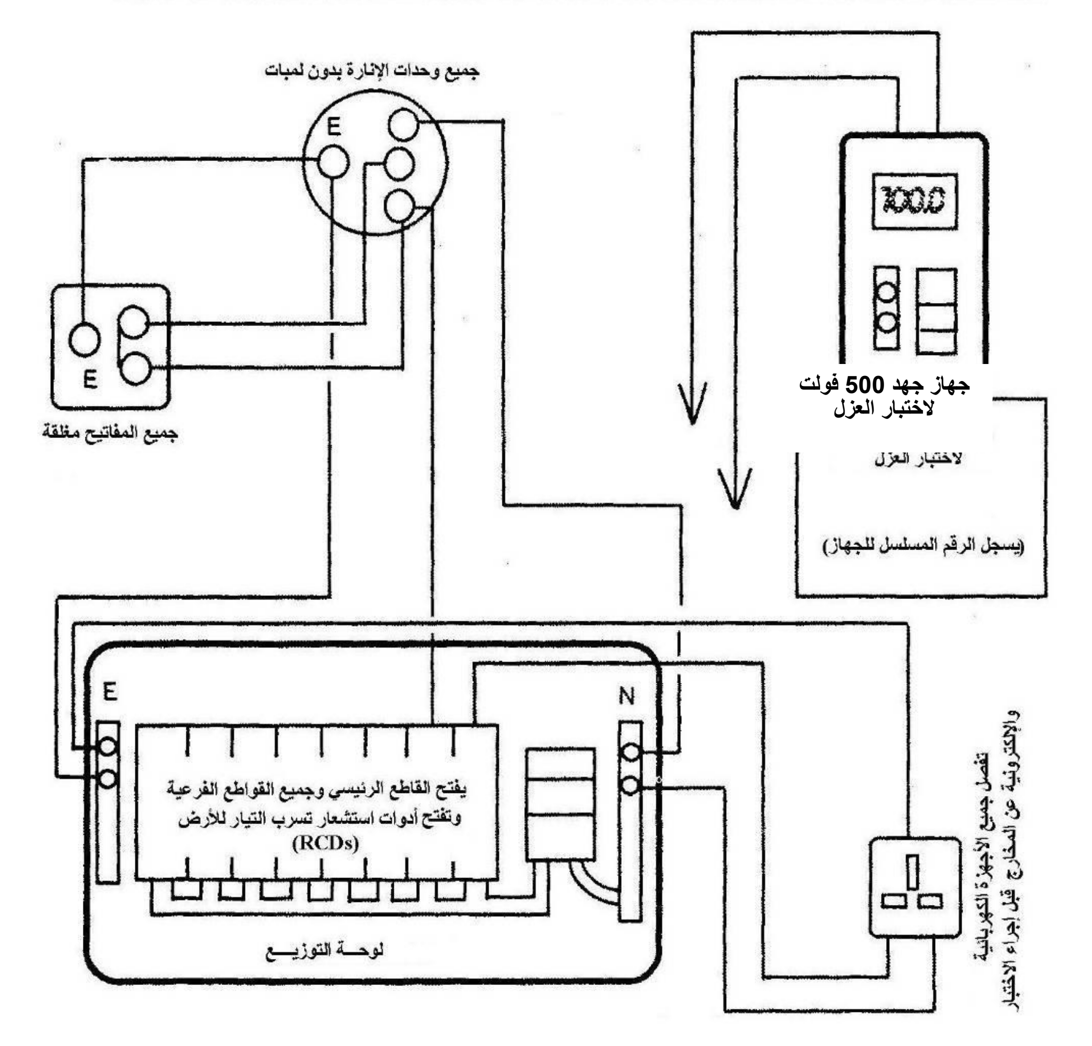
وعموما يجب أن تكون قراءة المقاومة التى يقيســـها جهاز الميجر أكبر من 2 مليون أوم فى الدوائر المنفصلة، وأكبر من نصف مليون فى الدوائر المجمعة لضمان العزل التام عن الأرضي (هذه القيم خاصة بالكود المصرى ويجب أن تراجع القيم الخاصة بكود بلدك) .

فى بعض الحيان يصـعب فصـل جميع الأحمال لتنفيذ هذا الاختبار خاصـة إذا كان المبنى كبيرا والأحمال مركبة بالفعل، ولذا يمكن تنفيذ هذا الاختبار فى وجود الأحمال مع القبول بقيمة أقل لقيمة العزل المقاسة.

اختبار عزل الدوائر الكهربية عند أطرافها الموصلة للوحة التوزيع
(تسجل جميع القراءات)

تقاس مقاومة العزل بين:
- كل وجه على حدة والأرض
- كل وجه على حدة وخط التعادل
- خط التعادل والأرض
- الأوجه وبعضها البعض

ملاحظـــات:
- يجب ألا تقل المقاومة الكلية لعزل أسـلاك الدوائر الموجودة في الموقع عن 0.5 ميجاأوم
- تراجع الدوائر التي تقل مقاومة عزلها عن 2ميجاأوم



شكل 8-7: قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات الكهربية

لاحظ أننا لو لم نســتخدم الميجر واســتخدمنا بدلا منه الأوميتر بمفرده فإنه ســيكون غير كاف لإثبات أن العزل سـليم، لأن السـلك إذا كان مكشــوفا عند نقطة (دون أن يلمس الأرض)، لكنه في نفس الوقت قريب جدا من الأرض، فعندئذ يصـــبح الجهد الذي ينتجه الأوميتر لقياس المقاومة (و هو جهد صـــغير جدا لا

يتعدى 9 VDC) غير كاف لكسر العزل بين الجزء المكشوف وبين الأرض، و بالتالي لا يكتشف هذا العطل. و الحل الوحيد هنا هو استخدام جهاز الميجر لأنه الوحيد القادر على اكتشاف هذه العيوب بسبب الجهد العالي الذي ينتجه والذى يتسبب في انهيار العزل في المسافات الصغيرة بين الجزء المكشوف والأرض إن وجدت.

8-2-5 اختبار استمرارية أسلاك الأرضي

توجد مجموعة من الاختبارات تخص منظومة الأرضي منها اختبار استمرارية أسلاك الأرضي، والغرض منه التأكد من استمرارية توصيلات الأرضي.

فبعد الانتهاء من التركيبات الكهربية داخل المباني لابد من التأكد من استمرارية أسلاك التأريض الوقائي المستخدمة في تلك التركيبات وذلك لما تمثله عدم استمرارية تلك الأسلاك من خطورة على حياة مستخدمي المبنى. ويتم ذلك بقياس المقاومة بين كل نقطة توصيل الـــ Phase وبين نقطة توصيل الأرضي فى كل مخرج على حدة على أن يتم ذلك بعد إجراء ما يلى :

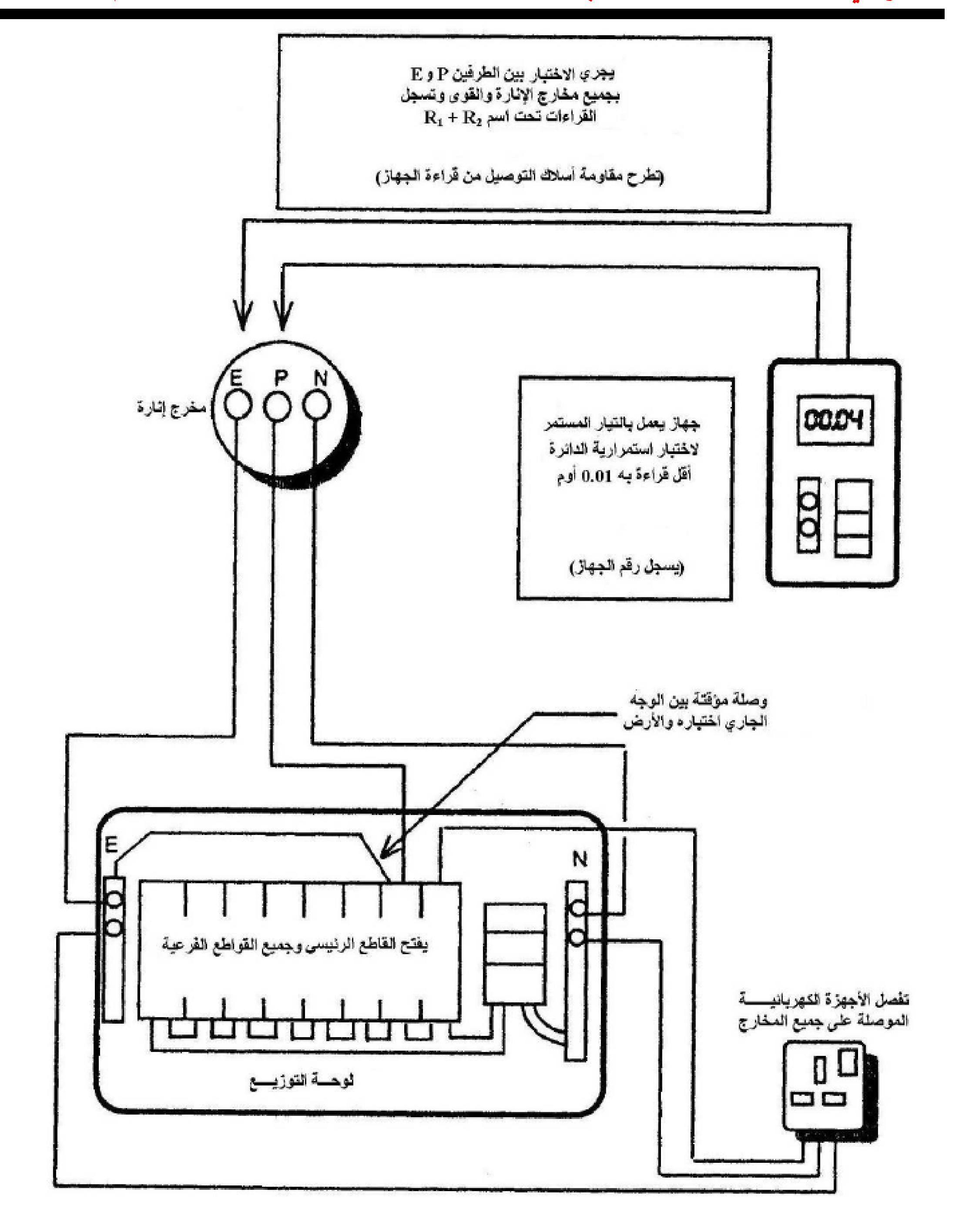
1- فصل جميع الأجهزة الموصلة بالبرايز.

2- فصل المفتاح العمومى للكهرباء وكذلك المفاتيح الفرعية باللوحة.

3- عمل وصلة **مؤقتة** بين الـــ Phase المراد اختباره وبين Bus Bar الأرضي باللوحة كما هو موضح في الشكل 8-8.

4- يجب أن تكون المقاومة المقاسة بين هذا الphase وبين نقطة الأرضي فى اى مخرج برايز أو اى مخرج إنارة (يجب اختبار جميع المخارج) بعد ذلك فى حدود 0.01 أوم لضمان استمرارية الأرضي.

5- يحسن استخدام الجهاز اختبار استمرارية الأرضي الذى أشرنا إليه سابقا فى الجزء الأول من هذا الفصل لسهولة استعماله خاصة عند قياس استمرارية الأرضي بالبرايز.



شكل 8-8 : اختبار استمرارية الأرضي

8-2-6 اختبار قيمة مقاومة إلكترود الأرضي

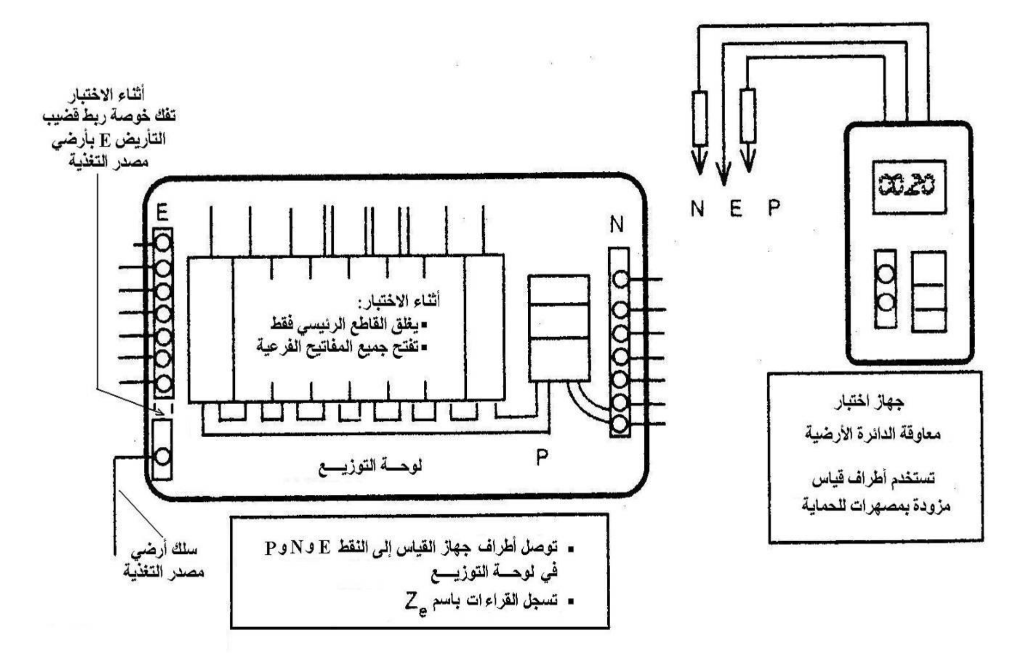
وهذا بالطبع يختلف عن الاختبار السـابق الذى يعطى مؤشـر فقط على وجود موصـل الأرضـي سـليما، أما هذا الاختبار فيعطى قيمة مقاومة الأرضي الفعلية (راجع الفصل السادس) .

وهناك أيضـا اختبار القاطع الخاص بتسـريب الأرضـي Ground Fault Circuit Breaker، حيث تزود هذه القواطع دائما بمفتاح اختبار Test، و عند الضـغط عليه فإننا نسرب عمداً جزءا يسيرا جدا من التيار، فإذا فصل الجهاز فهذا يعنى أنه سليم وإلا تراجع الدائرة أو يستبدل الجهاز.

8-2-7 قياس Earth Loop Impedance

وللتأكد من صــــلاحية أجهزة الوقاية المركبة فى بداية كل دائرة كهربية بغرض حمايتها من تيارات القصــــر التي يمكن أن تتعرض لها، فإنه يلزم معرفة قيمة المعاوقة الأرضــــية الكلية للدائرة التي تمر بها التيارات الأرضـية إذ أن هذه المعاوقة الأرضـية هي التي تحدد قيمة تيار القصـر Short Circuit Current (I_{SC} = V ÷ Z_{eq}) . وفى نفس الوقت لابد من التأكد من أن القيمة الكلية لمعاوقة الدائرة الأرضــــية قليلة إلى الحد الذي يمكن الاطمئنان معه إلى أنه في حالة حدوث أخطاء أرضية (Earth Faults) فإن تيار القصر الناتج عن الخطأ سيكون كافياً لتشغيل أجهزة الوقاية وعزل الجزء الذي حدث به الخطأ.

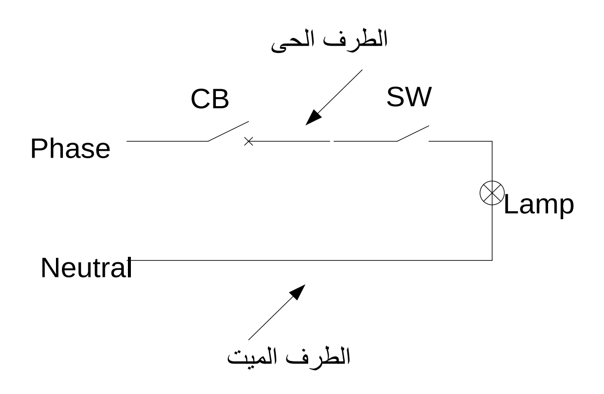
ويمكــن قيــاس المعاوقــة الأرضية الكلية للدائرة بعد توصيلها إلى مصدر التغذية باستخدام جهــاز قياس خــاص بذلك يسمــى "جهـاز قياس معاوقة الدائرة الأرضية Earth Loop Impedance Tester " وذلك كما هو موضح في الشكل 8-9.



شكل 8–9: قياس المعاوقة الأرضية لدائرة كهربية أرضية مغلقة

8-2-8 اختبارات القطبية Polarity Test

من المعلوم أن التوصيل الصحيح لأى جهاز كهربي موصل على التوالى مع مفتاحه يكون بأن يوضع المفتاح بين الـ phase (الطرف الحى) وبين الجهاز، كما فى الشكل 8–10 الذى يظهر طريقة توصيل لمبة.

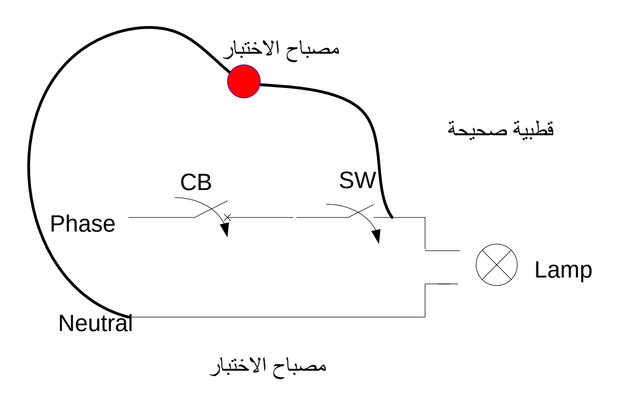


شكل 8–10 : التوصيل الصحيح للمبة

والغاية من اختبار القطبية هو التأكد من الربط الصحيح للأجهزة والمعدات الكهربية أثناء التركيب بأن يتم التأكد من أنها جميعا قد ربطت بالمفتاح قبل اتصالها بالـ (Phase) والذى يسمى محليا بالسلك الحى، والتأكد من أن جميع المفاتيح لها اتجاه واحد للفتح، وكذلك جميع الـ CBs. كما أن هذا الاختبار مفيد للتأكد من أن جميع البرايز موصلة بطريقة موحدة. وهناك عدة أنواع من هذا الاختبار.

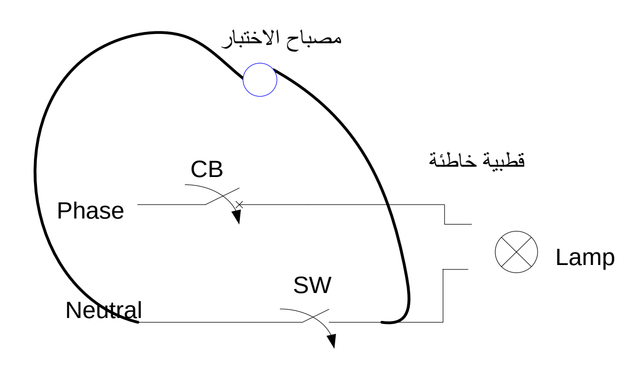
8-2-9 اختبار القطبية مع وجود الكهرباء :

تفصل أولاً اللمبات من مواضعها ثم يؤخذ جهاز الاختبار والذى هو عبارة عن مصباح موصل مع سلكين طويلين، ثم يوضع أحد طرفي سلكى الاختبار على طرف خط الـ Neutral (الخط الميت أو البارد) فى لوحة التوزيع، ويوصل الطرف الآخر على طرف المفتاح (الـ Switch) ، وسيضيئ مصباح الاختبار فقط فى حالة كون القطبية صحيحة كما فى الشكل 8-11.



شكل 8-11 : القطبية صحيحة

أما إذا كانت القطبية خاطئة فلن يضيئ مصباح الاختبار كما فى الشكل 8-12.



شكل 8-12 : قطبية خاطئة

يستخدم هذا الاختبار أيضا لفحص قطبية البرايز والتأكد من أن الطرف الحى (الـــ Phase) متصل دائما بالطرف الأيمن للبريزة

شروط هذا النوع من الاختبار:

1. أن يكون المفتاح والـ CB كلاهما مغلقا.
2. إزالة المصابيح من أماكنها.
3. إزالة جميع الأجهزة من الـ Sockets (لا يوصل أى جهاز على البرايز).
4. يجب تكرار عملية الاختبار بالنسبة إلى كافة المفاتيح.

لاحظ أن الالتزام الدقيق بكود الألوان عند التنفيذ يساعد في تطبيق اختبارات القطبية.

8-2-10 أسلوب أيسر فى تحديد القطبية

مع التطور الهائل فى أجهزة القياس أصبح من الممكن تمييز الخط الـــ Live من الخط الذى لايحمل جهد بواسطة جهاز يشبه القلم كما فى الشكل 8-13. وفكرة عمله تعتمد على تأثره بالمجال المغناطيسي الذى ينشأه التيار المار بالسلك. وتتم معايرته Calibrated بحيث يصدر ضوء عند رأس القلم وصوتا إذا كان على بعد يقل عن 3mm من السلك المكهرب، ولا نحتاج لوضع هذا الجهاز داخل الدائرة. وهو يحتاج فقط يحتاج لبطارية عادية، ويمكنه تمييز الجهود حتى 240 فولت.



شكل 8-13

8-2-11 شهادة إتمام العمل فى التركيبات الكهربية

بعد إتمام المعاينات والاختبارات المطلوبة واعتمادها من مهندس استشاري كهربي متخصص يقوم المقاول أو من ينوب عنه بتقديم شهادة إتمام العمل إلى المالك أو من ينوب عنه، وذلك بعد استكمال أى أعمال ناقصة وإصلاح أى عيوب تظهر أثناء المعاينة أو الاختبارات. ويجب أن ترفق شهادات المعاينات والاختبارات المعتمدة مع شهادة إتمام العمل فى التركيبات.

8-3 مرحلة الاستلام الابتدائي

يتم تسليم المشروع ابتدائيا بعد استيفاء المستندات والإجراءات التالية:

8-3-1 الرسومات النهائية (As-Built Drawings

الرسومات النهائية هى ما تعرف برسومات الحفظ وهى تنتج عن الرسومات التنفيذية المعتمدة والمفروض تواجدها فى الموقع للتنفيذ بموجبها ويوقع عليها أولا بأول أية تعديلات أو تغييرات معتمدة تكون قد أجريت واتفق عليها واعتمدت، ويقوم المقاول بعد الانتهاء من تنفيذ جميع الأعمال وأثناء اختبار تشغيلها وحصرها وقبل تسليمها ابتدائياً بتجهيز وتسليم هذه الرسومات بمقياس رسم مناسب (1 : 100، 1 : 50) على قرص مدمج (CD) ويكتب عليها (AS built drawings)، وكذلك يجب طباعة (الرسومات النهائية)، ويجب أن يكون واضحاً بدقة فى هذه الرسومات جميع ما تم تنفيذه من أعمال على الطبيعة متضمناً كافة البيانات والأبعاد وكافة التعديلات.

8-3-2 دليل التشغيل والصيانة

(أ) على المقاول تقديم كافة النشرات الخاصة بالتشغيل والصيانة لجميع أجزاء ومفردات المشروع تحت الاستلام وهى التى يلزم الرجوع إليها عند عمل الصيانة أو عند عمل أى تعديلات أو توسعات فى المستقبل. وإذا دعت الضرورة، فيجب على المقاول تقديم اللوحات الإرشادية والتحذيرية للتشغيل والصيانة الوقائية والتى تعلق داخل لوحات خاصة فى نفس أماكن المعدات والمهمات المقصودة بهذا البند.

(ب) يجب أن يقدم المقاول كشف بعناوين جميع الموردين لمهمات ومعدات المشروع وتليفوناتهم وفاكساتهم وأقرب مركز للصيانة وقطع الغيار لمهمات المشروع للرجوع إليهم عند الحاجة.

8-3-3 قوائم قطع الغيار

(أ) يقوم المقاول بتسليم بيان بقطع الغيار التى يمكن أن يكون المشروع فى حاجة إليها خلال فترة تشغيل عادية لمدة 5 سنوات معتمدة من الوكلاء التجاريين للمعدات والأجهزة والمهمات الموردة بالمشروع وكذلك يذكر الأرقام الخاصة بهذه القطع (Spare Part No.) والمصادر التى يمكن الحصول عليها منها.

(ب) قد يرى مالك واستشاري المشروع وأثناء إعداد مستندات النشر أن ينص فى دفتر الشروط والمواصفات والكميات على قيام المقاول بأعمال الصيانة الوقائية خلال سنة الضمان وقد يكون هذا النص شاملاً قيام المقاول بتدبير قطع الغيار اللازمة أو بدونه.

8-3-4 دفاتر حصر الأعمال

حيث أن الكميات الواردة بمقايسة الأعمال هى كميات استرشادية، كما أن ما يجرى أثناء التنفيذ من تعديلات قد تكون صغيرة أو كبيرة، وبالإضافة إلى ما تم أثناء التنفيذ من حصر الأعمال دورياً لعمل المستخلصات أول بأول مع تقدم سير العمل بالمشروع فإنه يتم الحصر والقياس تبعاً لنوع الوحدة المنصوص عليها فى دفتر البنود والكميات سواء بالعدد أو بالمتر الطولى أو بالمقطوعية هذا ويتم إعداد دفاتر الحصر بحيث يدون كل بند فى صفحة ويدون بالصفحة المقابلة تفاصيل الحصر بالأدوار أو المباني المختلفة أو للأطوال من/إلى وهكذا بحيث يكون أمام كل بند تفاصيل تنفيذه عداً أو قياساً من الطبيعة مع الرسومات النهائية.

8-3-5 شهادات الاختبارات

يجب أن ترفق كافة شهادات الاختبارات لجميع المهمات والأجهزة والمعدات بالمشروع فى ملف خاص يسلم قبل إجراء الاستلام الإبتدائى للمشروع. مع ملاحظة أنه يجب أن يكون معلوماً أن جميع تجارب الاختبارات يتم إجراؤها على نفقة المقاول وبواسطة عماله المتدربين ومعداته وأجهزته المعايرة حديثاً والتى يقدمها المقاول طبقاً لطلب المهندس، كذلك فإن للمهندس الحق فى إرسال أى عينات أو مواد أو مهمات يريد أن يتأكد من مواصفاتها – إلى معامل اختبار معتمدة لاختبارها والتأكد من صلاحيتها ومطابقتها للمواصفات ويكون ذلك على نفقة المقاول.

تشمل الاختبارات الآتى:

(1) تقارير الاختبارات النوعية (Type test reports)

هى التقارير النهائية عن اختبارات المنتج من نفس النوع والســـعة والمواصـــفة الفنية المماثل لنفس النوع المستخدم بالمشروع. ومن أمثلة الاختبارات النوعية الخاصة بمحولات القوى الكهربية ما يلى:

1. اختبار ارتفاع درجة الحرارة عند التيار المقنن باستخدام طريقة قصر الدائرة.
2. اختبار العزل بالـ Impulse Voltage.
3. اختبار قصر الدائرة باستعمال تيار يساوى 25 ضعفاً من التيار المقنن.

(2) اختبارات المصنع المنتج (Routine tests)

وهى الاختبارات الروتينية التى تجرى بالمصـــنع على كل Equipment أو منتج بعد التصـــنيع قبل النقل للموقع للتأكد من سلامة ووفاء الEquipment أو المنتج ومطابقته للمواصفات المطروحة وسلامة أداءه. ومن أمثلة الاختبارات الروتينية (اختبارات المصنع) والتى تجرى على محولات القوى الكهربية ما يلى:

- اختبار الصمود على ارتفاع الجهد واختبار التفريغ الكهربي الجزئي.
- قياس الـ Loss عند الحمل و اللاحمل.
- قياس جهد المعاوقة.
- قياسات الجهد، ورمز مجموعة المتجهات.
- قياس مقاومة الملفات.
- اختبارات العزل بين الملفات وبين الملفات الأرضية.

(3) اختبارات الموقع (Site test)

وهى الاختبارات التى تجرى بالموقع بعد النقل والتركيب لتأكيد ســـلامة النقل وعدم تعرض المنتج لأى تغييرات أثناء النقل وكذلك للتأكد من سلامة أوضاع التركيب وسلامة الأداء فى هذه الأوضاع. ومن أمثلة الاختبارات التى تجرى بالموقع على محولات القوى الكهربية ما يلى:

- اختبار التسخين مع قياس ارتفاع درجة الحرارة للأجزاء المختلفة كل 15 دقيقة.
- اختبار عزل الملفات باستعمال الميجر.

8-3-6 قوائم استلام الأعمال

يتم اســـتيفاء النماذج كما فى الأمثلة الموجودة بالجزء الثاني من هذا الفصـــل. واخيرا، فإنه على المقاول تدريب جهاز التشغيل من قِبَل المالك (مهندسين وفنيين ومتخصصين) وتزويدهم بكافة المعلومات والبيانات الضـرورية اللازمة سـواء لأعمال التشـغيل أو الصـيانة. ويتم التدريب من قِبَل مهندسـي المقاول أو الشـركة المنتجة على أعمال تشـــغيل المهمات ومراقبتها وصـــيانتها طبقاً لنصـــوص العقد الذى يحدد مدة التدريب ومكان التدريب سـواء بالموقع أو بمصـانع الشـركة المنتجة. ونظراً لأهمية تدريب الكوادر اللازمة فإن على المالك أن يكون لديه العمالة المؤهلة للقيام بذلك.

8-3-7 آلية الإستلام الإبتدائى

إذا تم استيفاء جميع المستندات المطلوبة للاستلام الابتدائى وإتمام تدريب المختصين، واتضح من المعاينة أن جميع الأعمال قد تمت طبقاً لشـــروط ومواصـــفات العقد فيتم عمل إجراءات الاســـتلام الابتدائى حيث يحرر محضر رسمى للاستلام الابتدائى من ثلاث صور.

و بعد إجراء الاستلام الابتدائى تحرر كشوف الختامى (مستخلصـات) مرفقاً بها دفاتر الحصر وتعتمد من كل من المقاول والمهندس والمالك أو المفوضـين من قبلهم لصـرف قيمتها بعد خصـم قيمة التأمين النهائى للأعمال لحين انتهاء سنة الضمان.

8-3-8 ضمان الأعمال

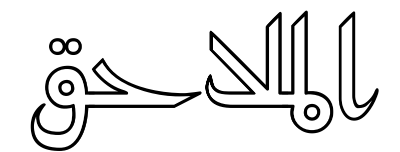
يضــمن المقاول جميع الأعمال محل التعاقد وذلك لمدة سـنة كاملة من تاريخ محضــر الاسـتلام الابتدائى للمشروع وعليه إجراء كافة الإصلاحات اللازمة خلال هذه السنة مع تحمله كافة تكاليف الإصلاحات. وإذا ثبت تقصير المقاول فى تنفيذ الإصلاحات بحد أقصى 15 يوماً من إنذاره كتابة بذلك، (إلا إذا تحددت مدة أقل من ذلك فى مسـتندات المشـروع)، يتم خصـم تكاليف هذه الإصــلاحات من التأمين النهائى أو من أى مسـتحقات أخرى للمقاول وليس للمقاول الرجوع إلى القضـاء فى هذا الشـأن بأى حال من الأحوال. ويكون المقاول مسئولاً عن كل خطر يحدث للمهمات أو الأفراد طوال مدة الضمان نتيجة التشغيل العادى.

8-3-9 الاستلام النهائى

إذا قام المقاول بالوفاء بجميع ما عليه من إلتزامات طبقاً لشـــروط العقد وبالأخص ضـــمان الأعمال خلال فترة الضمان المنصوص عليها، يقوم المقاول بإخطار المالك كتابة برغبته فى تسليم الأعمال نهائياً فإنه يتم

تشكيل لجنة الإستلام وتكون مكونة من المالك والمهندس والمقاول أو من ينوب عنهم ويتم تحرير محضر استلام نهائى للأعمال ويوقع عليه كل من المهندس والمقاول والمالك أو من يفوضونه فى ذلك.

أما إذا أخل المقاول بأى إلتزامات عليه وعلى الأخص بالنسبة لضمان الأعمال، فإنه يتم تأجيل الاستلام النهائى لحين تنفيذ كل إلتزامات المقاول، وبعد التصديق على محضر الاستلام النهائى، يصرف للمقاول قيمة التأمين النهائى للأعمال والمودع لدى المالك أو رد خطاب الضمان البنكى إلى المقاول خلال أسبوع على الأكثر.


الملاحق

الأحمال التقديرية للمحلات والمنازل

أولا : السعات النمطية لوحدات المباني التى لا يزيد ارتفاعها عن 15 دوراً بالقاهرة الكبرى

جدول رقم (١): السعات النمطية لوحدات المباني التي لا يزيد ارتفاعها عن ١٥ دوراً

اسم المنطقة	السعة ك ف أ/ ١٠٠م٢ سكني	السعة ك ف أ/ ١٠٠م٢ إداري
أولاً: قطاع شبكات الشمال:		
أ- شبكات شبرا:		
شارع شبرا	٣	١٢
روض الفرج	١,٥	٨
جزيرة بدران	١,٥	٨
جسر البحر	١,٥	٨
الفاخان	٤	١٢
أرض شريف	٢	٩
الزاوية الحمراء والشرابية	١,٥	٦
الترعة البولاقية	٢	٣
شارع مسرة	١	١,٥
أحمد حلمي	١	٢
ب- شبكات شبرا الخيمة:		
مساكن الضباط	٣	٦
أرض أبو سعدة	٢	٤
الصباغة والتجهيز	٢	٤
بهتيم	١,٥	٤
أرض توبار	١,٥	٣
عزبة عثمان	٢	٤
بيجام الصناعية	٢	٦
عزبة رستم	١,٥	٣
مسطرد	٢	٤
بدر الصناعية	٢	٤
الوحدة العربية	٢	٤
جـ- شبكات م. نصر:		
العقاد وامتداده	٦	١٢
مكرم عبيد وامتداده	٦	١٢
حسن مأمون وامتداده	٦	١٢
ش الطيران وامتداده	٦	١٢
علي أمين وامتداده	٦	١٢
مصطفى النحاس	٦	١٢
محمود شلتوت	٦	١٢
عبد الله العربي	٦	١٢
طريق النصر	٦	١٢
حسن الشريف	٦	١٢
أبو العتاهية	٦	١٢
سمير عبد الرؤوف	٦	١٢
باقي المناطق	٣	٩
د- شبكات العباسية:		
العباسية والظاهر	٣	٨
مصر والسودان	٣	٨
الجمالية	٣	٦
باقي المناطق	٢	٦
هـ- شبكات الخانكة:		
الخانكة وأبو زعبل	١,٥	٦
القلج	١,٥	٦
مدينة السلام	٢	٦
كفر أبوصير	١,٥	٦
و- شبكات الحلمية:		
عين شمس	٢	٦
عزبة النخل	٢	٦
الزيتون	٣	٦
كوبري القبة	٣	٦
المطرية	٢	٦
الوايلي	٢	٦
المرج	١,٥	٦
الخصوص	١,٥	٦

اسم المنطقة	السعة ك ف أ/ ١٠٠م٢ سكني	السعة ك ف أ/ ١٠٠م٢ إداري
ثانياً: قطاع شبكات الجنوب:		
أ- شبكات المعادي:		
المعادي الجديدة	٤	٨
المانجو	٤	٨
حدائق المعادي	٤	٨
السرايات	٤	٨
دجلة	٤	٨
الجولف	٤	٨
عزبة جبريل	٢	٤
فايدة كامل	٢	٤
مصر القديمة	٢	٤
دار السلام	٢	٤
البساتين	٢	٤
طرة البلد	٢	٤
عزبة نافع	٢	٤
كوتسيكا	٢	٤
الكورنيش	٨	١٢
ب- شبكات حلوان:		
الكورنيش: من المعصرة حتى ركن فاروق	٦	٨
الكورنيش: من حلوان حتى التبين	٣	٨
مدينة حلوان	٣	٥
تقسيم النصر للسيارات	٣	٥
زهراء حلوان	٣	٥
حدائق حلوان	٣	٥
تقسيم فريد زكي	٣	٥
مدينة الموظفين	٣	٥
تقاسيم شرق حلوان	٣	٥
تقسيم جمعية النصر للإسكان	٣	٥
مدينة الهدى	٣	٥
حلوان البلد	٢	٣
كفر العلو والعرب والمناشي والكفور والشوبك والأعراب	٢	٣
تبين البلد	٢	٣
مدينة الحديد والصلب	٢	٣
باقي التقاسيم	٢	٣
جـ- شبكات الهرم:		
ش الهرم شمال ويمين حتى ش الملك فيصل وكل ما يطل على ش فيصل من الجهتين	٥	٩
ش الترسا شمال ويمين ش خفرع والعمرانية حتى ش المصانع	٥	٩
كل ما يطل على ش البحر الأعظم حتى التبين ومن ش ربيع حتى المنيب	٥	٩
كل ما يطل على ترعة الزيوطية من الجهتين حتى كوبري الحرانية وعثمان ومن ش الهرم حتى كوبري منشية البكاري	٥	٩
الجيزة	٣	٦
المنيب	٣	٦
الطالبية	٣	٦
الطالبية البحرية	٣	٦
العمرانية الغربية	٣	٦
تقسيمات بعد ش ترسا وش شفرع طريق الطالبية - الكنيسة - التقسيمات الجديدة بمنطقة الهرم - كل يمين الملك فيصل ابتداء من أرض اللواء حتى تقسيم الجوهرة	٣	٦
أبو قتادة	٢	٤
ترعة جبريل	٢	٤
كرم بكار	٢	٤
كفر نصار	٢	٤
كفر غطاطي	٢	٤

اسم المنطقة	السعة ك ف أ/ ١٠٠م٢ سكني	السعة ك ف أ/ ١٠٠م٢ إداري
شبرا منت الحرانية	٢	٤
بلدة الكنيسة	٢	٤
عزبة القصبجي	٢	٤
البكباشي	٢	٤
أبو النمرس	٢	٤
منيل شيحة	٢	٤
المنوات	٢	٤
طموه	٢	٤
غرب النيل	٢	٤
ميت قادوس	٢	٤
ميت شماس	٢	٤
كفر الجبل	٢	٤
نزلة السمان	٢	٤
نزلة البطران	٢	٤
كفر الشقي	٢	٤
زاوية أبو مسلم	٢	٤
د- شبكات الدقي:		
الجيزة	٨	١٢
الدقي	٨	١٢
المهندسين	٨	١٢
العجوزة	٨	١٢
الصحفيين	٨	١٢
العلمين	٨	١٢
بين السرايات	٥	٩
بين السرايات البلد	٣	٦
أرض اللواء	٣	٥
أرض الجمعية	٣	٥
أرض الحداد	٣	٥
إمبابة	٣	٥
مدينة العمال	١,٥	٣
مدينة التحرير	٣	٥
بولاق - البراجيل	١,٥	٣
صفط اللبن - الوراق	١,٥	٣
ميت عقبة البلد	١,٥	٣
بشتيل	١,٥	٣
هـ- شبكات بولاق:		
الزمالك	١٠	١٦
وسط البلد «عابدين»	١٠	١٦
ش ٢٦ يوليو «بولاق»	٨	١٢
بولاق	٣	٦
القللي	٣	٦
عابدين	٣	٦
الموسكي	٤	٨
منطقة الترجمان	٣	٦
باب الشعرية	٣	٦
و- شبكات القلعة:		
منطقة الخرطة القديمة - الإمام الشافعي والتونسي	٢	٣
السيدة عائشة - طولون		
قلعة الكبش	٢	٣
منشية ناصر	٢	٤
الدرب الأحمر	٣	٤
الحلمية الجديدة - بركة الفيل	٤	٦
ش بورسعيد «الأزهر»	٤	٦
ز- شبكات السيدة:		
المنيل	٤	٨
السيدة زينب	٤	٨
ش كورنيش النيل	٨	١٢
منطقة السيدة - ش بورسعيد	٤	٦
جاردن سيتي	٦	٩
ش مجلس الشعب	٤	٨
المنيرة	٤	٨
مصر القديمة	٣	٦
عابدين	٣	٦

ملحق تقدير الأحمال طبقا لقواعد مؤسسة الكهرباء السعودية

حساب أحمال المنشآت السكنية للجهد (٢٢٠ فولت بين طورين)

المساحة المشيدة للمبنى	مجموع الأحمال الموصلة	سعة القاطع المقترح
م٢	(ك.ف.أ)	(أمبير)
٢٥	٤	٣٠
٥٠	٨	
٧٥	١٢	
٧٦	١٣	٤٠
١٠٠	١٦	
١١٠	١٧	
١١١	١٨	٥٠
١٢٥	٢٠	
١٥٠	٢٤	
١٥١	٢٥	٧٠
١٧٥	٢٨	
٢٠٠	٣٢	
٢٢٥	٣٦	
٢٢٦	٣٧	١٠٠
٢٥٠	٤٠	
٢٧٥	٤٣	
٣٠٠	٤٦	
٣٠١	٤٧	١٢٥
٣٢٥	٥٠	
٣٥٠	٥٣	
٣٧٥	٥٦	
٣٧٦	٥٧	١٥٠
٤٠٠	٦٠	
٤٢٥	٦٣	
٤٥٠	٦٦	
٤٦٠	٦٨	
٤٦١	٦٩	٢٠٠
٤٧٥	٧٠	
٥٠٠	٧٣	
٥٢٥	٧٦	
٥٥٠	٨٠	
٥٧٥	٨٣	
٦٠٠	٨٦	
٦٢٥	٩٠	
٦٢٦	٩١	٢٥٠
٦٥٠	٩٣	
٦٧٥	٩٦	
٧٠٠	١٠٠	
٧٢٥	١٠٣	
٧٥٠	١٠٦	
٧٧٥	١١٠	
٨٠٠	١١٣	
٨٠١	١١٤	٣٠٠
٨٢٥	١١٦	
٨٥٠	١٢٠	
٨٧٥	١٢٣	
٩٠٠	١٢٦	
٩٢٥	١٣٠	
٩٥٠	١٣٣	
٩٧٥	١٣٦	
٩٧٦	١٣٧	٤٠٠
١٠٠٠	١٤٠	
١٠٢٥	١٤٣	
١٠٥٠	١٤٦	
١٠٧٥	١٥٠	
١١٠٠	١٥٢	
١١٢٥	١٥٦	
١١٥٠	١٦٠	
١١٧٥	١٦٣	
١٢٠٠	١٦٦	
١٢٠١	١٦٧	٥٠٠
١٣٠٠	١٨٠	
١٤٠٠	١٩٣	
١٥٠٠	٢٠٦	
١٦٠٠	٢٢٠	
١٦٠١	٢٢١	٦٠٠
١٧٠٠	٢٣٣	
١٨٠٠	٢٤٦	
١٩٠٠	٢٦٠	
٢٠٠٠	٢٧٣	
٢٠٠١	٢٧٤	٨٠٠
٢١٠٠	٢٨٦	
٢٢٠٠	٣٠٠	
٢٣٠٠	٣١٣	
٢٤٠٠	٣٢٦	
٢٥٠٠	٣٤٠	
٢٦٠٠	٣٥٤	
٢٧٠٠	٣٦٦	
٢٧٠١	٣٦٧	١٠٠٠
٢٨٠٠	٣٨٠	
٢٩٠٠	٣٩٤	
٣٠٠٠	٤٠٦	
٣٢٠٠	٤٣٣	
٣٤٠٠	٤٥٩	

حساب أحمال المنشآت التجارية للجهد (٢٢٠ فولت بين طورين)

المساحة المشيدة للمبنى	مجموع الأحمال الموصلة	سعة القاطع المقترح
م٢	(ك.ف.أ)	(أمبير)
٢٥	٦	٣٠
٥٠	١٠	
٥٥	١٢	
٥٦	١٣	٥٠
٧٥	١٦	
١٠٠	٢٢	
١٠١	٢٣	٧٠
١٢٥	٢٧	
١٥٠	٣٢	
١٥١	٣٣	١٠٠
١٧٥	٣٨	
٢٠٠	٤٣	
٢٠١	٤٤	١٥٠
٢٢٥	٤٨	
٢٥٠	٥٤	
٢٧٥	٥٩	
٣٠٠	٦٤	
٣٠١	٦٥	٢٠٠
٣٢٥	٧٠	
٣٥٠	٧٥	
٣٧٥	٨٠	
٤٠٠	٨٦	
٤٠١	٨٧	٢٥٠
٤٢٥	٩١	
٤٥٠	٩٦	
٤٧٥	١٠٢	
٥٠٠	١٠٧	
٥٠١	١٠٨	٣٠٠
٥٢٥	١١٢	
٥٥٠	١١٨	
٥٧٥	١٢٣	
٦٠٠	١٢٨	

المساحة المشيدة للمبنى	مجموع الأحمال الموصلة	سعة القاطع المقترح
م٢	(ك.ف.أ)	(أمبير)
٦٠١	١٢٩	٤٠٠
٦٢٥	١٣٤	
٦٥٠	١٣٩	
٦٧٥	١٤٤	
٧٠٠	١٥٠	
٧٢٥	١٥٥	
٧٥٠	١٦٠	
٧٧٥	١٦٦	
٧٧٦	١٦٧	٥٠٠
٨٠٠	١٧١	
٨٥٠	١٨٢	
٩٠٠	١٩٣	
٩٥٠	٢٠٣	
١٠٠٠	٢١٤	
١٠٠١	٢١٥	٦٠٠
١٠٥٠	٢٢٤	
١١٠٠	٢٣٥	
١١٥٠	٢٤٦	
١٢٠٠	٢٥٦	
١٢٥٠	٢٦٧	
١٢٥١	٢٦٨	٨٠٠
١٣٠٠	٢٧٨	
١٤٠٠	٢٩٩	
١٥٠٠	٣٢٠	
١٦٠٠	٣٤٢	
١٧٠٠	٣٦٣	
١٧٠١	٣٦٤	١٠٠٠
١٨٠٠	٣٨٤	
٢٠٠٠	٤٢٧	
٢١٠٠	٤٤٨	

حساب أحمال المنشآت السكنية للجهد (٢٣٠/٤٠٠ فولت)

المساحة المشيدة للمبنى	مجموع الأحمال الموصلة	سعة القاطع المقترح
م٢	(ك.ف.أ)	أمبير
٢٥	٤	٢٠
٥٠	٨	
٧٥	١٢	
١٠٠	١٦	
١٠١	١٧	٣٠
١٢٥	٢٠	
١٥٠	٢٤	
١٥١	٢٥	٤٠
١٧٥	٢٨	
٢٠٠	٣٢	
٢٠١	٣٣	٥٠
٢٢٥	٣٦	
٢٥٠	٤٠	
٢٥١	٤١	٧٠
٢٧٥	٤٣	
٣٠٠	٤٦	
٣٢٥	٥٠	
٣٥٠	٥٣	
٣٧٥	٥٦	
٣٧٦	٥٧	١٠٠
٤٠٠	٦٠	
٤٢٥	٦٣	
٤٥٠	٦٦	
٤٧٥	٧٠	
٥٠٠	٧٣	
٥٢٥	٧٦	
٥٥٠	٨٠	
٥٧٥	٨٣	
٥٧٦	٨٤	١٢٥
٦٠٠	٨٦	
٦٢٥	٩٠	
٦٥٠	٩٣	
٦٧٥	٩٦	
٧٠٠	١٠٠	
٧٢٥	١٠٣	
٧٢٦	١٠٤	١٥٠
٧٥٠	١٠٦	
٧٧٥	١١٠	
٨٠٠	١١٣	
٨٢٥	١١٦	
٨٥٠	١٢٠	
٨٧٥	١٢٣	
٩٠٠	١٢٦	
٩٠١	١٢٧	٢٠٠
٩٢٥	١٣٠	
٩٥٠	١٣٣	
٩٧٥	١٣٦	
١٠٠٠	١٤٠	
١٠٢٥	١٤٣	
١٠٥٠	١٤٦	
١٠٧٥	١٥٠	
١١٠٠	١٥٣	
١١٢٥	١٥٦	
١١٥٠	١٦٠	
١١٧٥	١٦٣	
١٢٠٠	١٦٦	
١٢٠١	١٦٧	٢٥٠
١٣٠٠	١٨٠	
١٤٠٠	١٩٣	
١٥٠٠	٢٠٦	
١٥٠١	٢٠٧	٣٠٠
١٦٠٠	٢٢٠	
١٧٠٠	٢٣٣	
١٨٠٠	٢٤٦	
١٨٠١	٢٤٧	٤٠٠
١٩٠٠	٢٦٠	
٢٠٠٠	٢٧٣	
٢١٠٠	٢٨٦	
٢٢٠٠	٣٠٠	
٢٣٠٠	٣١٣	
٢٤٠٠	٣٢٦	
٢٤٠١	٣٢٧	٥٠٠
٢٥٠٠	٣٤٠	
٢٦٠٠	٣٥٤	
٢٧٠٠	٣٦٦	
٢٨٠٠	٣٨٠	
٢٩٠٠	٣٩٤	
٣٠٠٠	٤٠٦	
٣٠٠١	٤٠٧	٦٠٠
٣٢٠٠	٤٣٣	
٣٤٠٠	٤٥٩	
٣٥٠٠	٤٧٠	
٣٦٠٠	٤٨٦	
٣٦٠١	٤٨٧	٨٠٠
٣٨٠٠	٥١٣	
٤٠٠٠	٥٤٠	
٤٢٠٠	٥٦٧	
٤٤٠٠	٥٩٤	
٤٦٠٠	٦٢١	
٤٨٠٠	٦٤٨	

حساب أحمال المنشآت التجارية للجهد (٢٣٠/٤٠٠ فولت)

المساحة المشيدة للمبنى	مجموع الأحمال الموصلة	سعة القاطع المقترح
م٢	(ك.ف.أ)	(أمبير)
٢٥	٦	٣٠
٥٠	١٠	
٧٥	١٦	
١٠٠	٢٢	
١١٠	٢٤	
١١١	٢٥	٥٠
١٢٥	٢٧	
١٥٠	٣٢	
١٧٥	٣٨	
١٧٦	٣٩	٧٠
٢٠٠	٤٣	
٢٢٥	٤٨	
٢٥٠	٥٤	
٢٥١	٥٥	١٠٠
٢٧٥	٥٩	
٣٠٠	٦٤	
٣٢٥	٧٠	
٣٥٠	٧٥	
٣٧٥	٨٠	
٣٧٦	٨١	١٥٠
٤٠٠	٨٦	
٤٢٥	٩١	
٤٥٠	٩٦	
٤٧٥	١٠٢	
٥٠٠	١٠٧	
٥٢٥	١١٢	
٥٥٠	١١٨	
٥٥١	١١٩	٢٠٠
٥٧٥	١٢٣	
٦٠٠	١٢٨	
٦٢٥	١٣٤	
٦٥٠	١٣٩	
٦٧٥	١٤٤	
٧٠٠	١٥٠	
٧٢٥	١٥٥	
٧٥٠	١٦٠	
٧٧٥	١٦٦	

المساحة المشيدة للمبنى	مجموع الأحمال الموصلة	سعة القاطع المقترح
م٢	(ك.ف.أ)	(أمبير)
٧٧٦	١٦٧	٢٥٠
٨٠٠	١٧١	
٨٢٥	١٧٦	
٨٥٠	١٨٢	
٨٧٥	١٨٧	
٩٠٠	١٩٢	
٩٢٥	١٩٨	
٩٢٦	١٩٩	٣٠٠
٩٥٠	٢٠٣	
٩٧٥	٢٠٨	
١٠٠٠	٢١٤	
١٠٢٥	٢١٩	
١٠٥٠	٢٢٤	
١٠٧٥	٢٣٠	
١١٢٥	٢٤٠	
١١٢٦	٢٤١	٤٠٠
١٢٠٠	٢٥٦	
١٣٠٠	٢٧٨	
١٤٠٠	٢٩٩	
١٥٠٠	٣٢٠	
١٥٠١	٣٢١	٥٠٠
١٦٠٠	٣٤٢	
١٧٠٠	٣٦٣	
١٨٠٠	٣٨٤	
١٨٥٠	٣٩٥	
١٨٥١	٣٩٦	٦٠٠
٢٠٠٠	٤٢٧	
٢١٠٠	٤٤٨	
٢٢٠٠	٤٦٩	
٢٢٠١	٤٧٠	٨٠٠
٢٣٠٠	٤٩١	
٢٤٠٠	٥١٢	
٢٥٠٠	٥٣٣	
٢٦٠٠	٥٥٥	
٢٧٠٠	٥٧٦	
٢٨٠٠	٥٩٧	
٢٩٠٠	٦١٩	
٣٠٠٠	٦٤٠	

الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين التجاريين

المساحة المعطاة متر مربع	الحمل المترابط ك.ف.أ	حمل وحدة التكييف ك.ف.أ	الطلب المقدر ك.ف.أ	الحمل التعاقدي		حجم عداد الكهرباء أمبير
				مقرر القاطع أمبير	ك.ف.أ	
25	6	3	3.6	30	19.74	3x25(100)
50	10	6	6			
75	16	9	6.9			
92	19	11	11.4			
93	20	11.2	12	60	39.48	3x25(100)
100	22	12	13.2			
125	27	15	16.2			
150	32	18	19.2			
175	38	21	22.8			
200	43	24	25.8			
224	47	26.9	28.2			
225	48	27	28.8	100	65.8	3x25(100)
250	54	30	32.4			
275	59	33	35.4			
300	64	36	38.4			
325	70	39	42			
350	75	42	45			
375	80	45	48			
399	85	47.9	51			
400	86	48	51.6	150	98.7	3x40(160)
425	91	51	54.6			
450	96	54	57.6			
475	102	57	61.2			
500	107	60	64.2			
525	112	63	67.2			
550	118	66	70.8			
575	123	69	73.8			
600	128	72	76.8			
611	130	73.3	78			
612	131	73.4	78.6	200	131.6	محول تيار
625	134	75	80.4			
650	139	78	83.4			
675	144	81	86.4			
700	150	84	90			
725	155	87	93			
750	160	90	96			
772	164	92.6	98.4			

773	165	92.8	99	300	197.4	محول تيار
775	166	93	99.6	أنظر		
800	171	96	102.6	ملاحظة رقم		
825	176	99	105.6	1		
850	182	102	109.2			
875	187	105	112.2			
900	192	108	115.2			
925	198	111	118.8			
950	203	114	121.8			
975	208	117	124.8			
1000	214	120	128.4			
1025	219	123	131.4			
1050	224	126	134.4			
1075	230	129	138			
1076	231	129.1	138.6	400	263.2	محول تيار
1100	235	132	141			
1125	240	135	144			
1150	246	138	147.6			
1175	250	141	150			
1200	256	144	153.6			
1233	263	148	157.8			
1234	264	148.1	158.4	500	329	محول تيار
1300	278	156	166.8			
1400	299	168	179.4			
1500	320	180	192			
1600	342	192	205.2			
1700	363	204	217.8			
1800	384	216	230.4			
1852	395	222.2	237			
2917	396	291.7	198	800	526.4	محول تيار
1853	396	222.4	237.6			
1900	405	228	243			
2000	427	240	256.2			
2100	448	252	268.8			
2200	469	264	281.4			
2300	491	276	294.6			
2400	512	288	307.2			
2465	526	295.8	315.6			

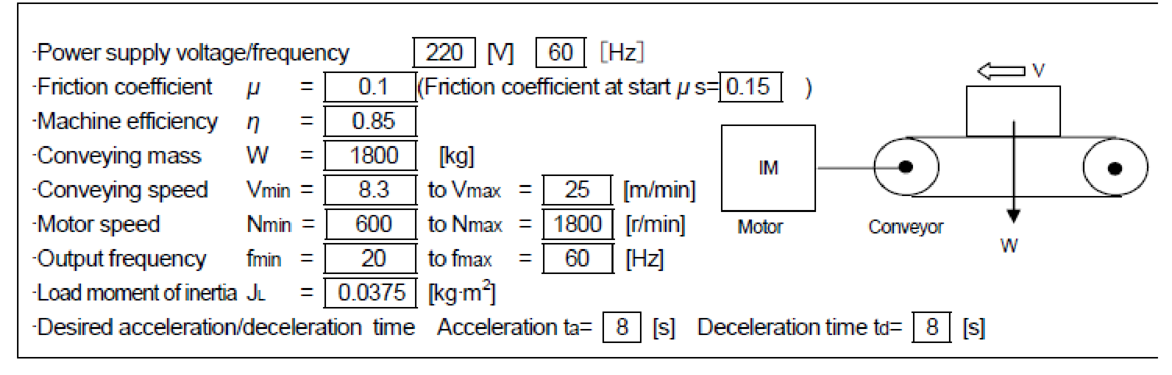
الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين المنزليين

المساحة المعطاة متر مربع	الحمل المترابط ك.ف.أ	حمل وحدة التكييف ك.ف.أ	الطلب المقدر ك.ف.أ	الحمل التعاقدي: مقرر القاطع أمبير	الحمل التعاقدي: ك.ف.أ	حجم عداد الكهرباء أمبير
25	4	2.5	2	30	19.74	3x25(100)
50	8	5.0	4			
75	12	7.5	6			
100	16	10.0	8			
124	19	12.4	9.5			
125	20	12.5	10	60	39.48	3x25(100)
150	24	15.0	12			
175	28	17.5	14			
200	32	20	16			
225	36	22.5	18			
250	40	25	20			
275	43	27.5	21.5			
300	46	30	23			
312	47	31.2	23.5			
313	48	31.3	24	100	65.8	3x25(100)
325	50	32.5	25			
350	53	35	26.5			
375	56	37.5	28			
400	60	40	30			
425	63	42.5	31.5			
450	66	45	33			
475	70	47.5	35			
500	73	50	36.5			
525	76	52.5	38			
550	80	55	40			
575	83	57.5	41.5			
599	85	59.9	42.7			
600	86	60	43	150	98.7	3x40(160)
625	90	62.5	45			
650	93	65	46.5			
675	96	67.5	48			
700	100	70	50			
725	103	72.5	51.5			
750	106	75	53			
775	110	77.5	55			
800	113	80	56.5			
825	116	82.5	58			
850	120	85	60			
875	123	87.5	61.5			

			63	90	126	900
			65.2	93	130	930
محول تيار	131.6	200	65.35	93.1	131	931
			66.5	95	133	950
			68	97.5	136	975
			70	100	140	1000
			71.5	102.5	143	1025
			73	105	146	1050
			75	107.5	150	1075
			76	110	152	1100
			78	112.5	156	1125
			80	115	160	1150
			81.5	117.5	163	1175
			82	118.8	164	1188
محول تيار	197.4	300	82.5	118.9	165	1189
		أنظر	83	120	166	1200
		ملاحظة رقم	90	130	180	1300
		1	96.5	140	193	1400
			103	150	206	1500
			110	160	220	1600
			115	167.9	230	1679
محول تيار	263.2	400	115.5	168	231	1680
			116.5	170	233	1700
			123	180	246	1800
			130	190	260	1900
			131.5	192.3	263	1923
محول تيار	329	500	132	192.4	264	1924
			136.5	200	273	2000
			143	210	286	2100
			150	220	300	2200
			156.5	230	313	2300
			163	240	326	2400
			170	250	340	2500
			176.5	260	353	2600
			183	270	366	2700
			190	280	380	2800
			196.5	290	393	2900
			197.5	291.6	395	2916
محول تيار	526.4	800	198	291.7	396	2917
			203	300	406	3000
			263	389	526	3890

ملحق السيور

(Load/operation specification)



- Power supply voltage/frequency 220 [V] 60 [Hz]
- Friction coefficient μ = 0.1 (Friction coefficient at start μs= 0.15)
- Machine efficiency η = 0.85
- Conveying mass W = 1800 [kg]
- Conveying speed Vmin = 8.3 to Vmax = 25 [m/min]
- Motor speed Nmin = 600 to Nmax = 1800 [r/min]
- Output frequency fmin = 20 to fmax = 60 [Hz]
- Load moment of inertia JL = 0.0375 [kg·m^2]
- Desired acceleration/deceleration time Acceleration ta= 8 [s] Deceleration time td= 8 [s]

Calculation of load-driving power and load torque

(1) Required power P_{LR}

· Required power $P_{LR} = \dfrac{\mu \times W \times V_{max}}{6120 \times \eta} = \dfrac{0.1 \times 1800 \times 25}{6120 \times 0.85} = 0.87$ [kW]

(2) Torque at motor shaft T_{LR}

· Load torque at motor shaft $T_{LR} = \dfrac{9550 \times P_{LR}}{N_{max}} = \dfrac{9550 \times 0.87}{1800} = 4.62$ [N·m]

Selection of motor and inverter capacities (tentative)

(1) Selection of the motor capacity (tentative)

· Because the required power is 0.87kW, select a 1.5kW motor. → SF-JR 1.5kW 4P

· Rated motor torque $T_M = \dfrac{9550 \times P_M}{N_M} = \dfrac{9550 \times 1.5}{1800} = 7.96$ [N·m]

· Assessment for the motor capacity (tentative)

◎ Assessment condition

Rated motor torque T_M ≥ Load torque T_{LR}

· Assessment

T_M= 7.96 [N·m] ≥ T_{LR}= 4.62 [N·m] → **OK**

(2) Inverter capacity

Tentatively select an inverter capacity that is same as the motor.

→ FR-E520-1.5K V/F control (high torque boost setting)

Assessment for the start

(1) Starting torque of the motor

· Starting torque of the motor $T_{MS}=T_M\times\alpha_S\times\delta=$ [7.96 × 1.15 × 0.85] = [7.78] [N·m]

Starting torque coefficient	α_S : 1.15	Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30
Hot coefficient	δ : 0.85	Outline of Technical Note No.30 [DATA] in TECHNICAL NOTE No.30

·Load torque at start $T_{LS}=\dfrac{\mu_S\times 9.8\times W\times V_{max}}{2\pi\times N_{max}\times\eta}=\dfrac{0.15\times 9.8\times 1800\times 25}{2\pi\times 1800\times 0.85}$ = [6.88] [N·m]

(2) Assessment for the start

◎Assessment condition

Maximum starting torque of motor T_{MS} > Load torque at start T_{LS}

· Assessment $T_{MS}=$ [7.78] [N·m] > $T_{LS}=$ [6.88] [N·m] → **OK**

Assessment for the continuous operation

(1) Continuous operation torque

Check if the load torque T_{LR} is less than the continuous motor operation torque in the continuous operation range (600 to 1800r/min).

1) Continuous motor operation torque at 1800r/min (60Hz)

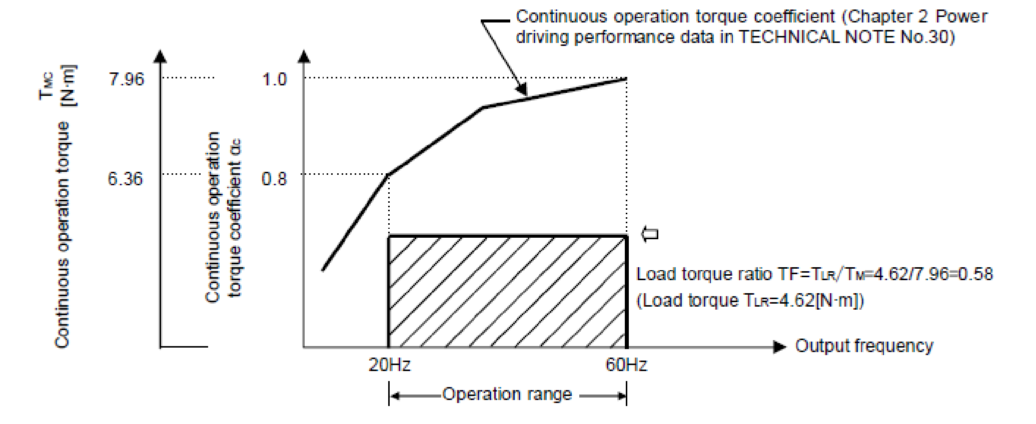
· Continuous motor operation torque $T_{MC}=T_M\times\alpha_C=$ [7.96 × 1.0] = [7.96] [N·m]

Continuous operation torque coefficient α_C : 1.0 (at 60Hz) Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30

2) Continuous motor operation torque at 600r/min (20Hz)

·Continuous motor operation torque $T_{MC}=T_M\times\alpha_C=$ [7.96 × 0.8] = [6.36] [N·m]

Continuous operation torque coefficient α_C : 0.8 (at 20Hz) Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30



(2) Assessment for the continuous operation

◎Assessment condition

Continuous operation torque of the motor T_{MC} > Load torque T_{LR}

· Assessment T_{MC}= 6.36 [N·m] > T_{LR}= 4.62 [N·m] → **OK**

Assessment for the acceleration

(1) Shortest acceleration time tas

· Shortest acceleration time $t_{as} = \frac{(J_L + J_M + J_B) \times N_{max}}{9.55(T_M \times \alpha_a - T_{LRmax})} = \frac{(0.0375 + 0.0068 + 0) \times 1800}{9.55(7.96 \times 1.15 - 4.62)} = 1.8$ [s]

Linear acceleration torque coefficient α_a: 1.15 Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30
Motor moment of inertia J_M: 0.0068 [kg·m^2] Motor and brake characteristics in TECHNICAL NOTE No.30
Maximum load torque T_{LRmax}: 4.62 [N·m] T_{LR} is used.

(2) Assessment for the acceleration

◎Assessment condition: Shortest acceleration time tas < Desired acceleration time ta

· Assessment t_{as}= 1.8 [s] < t_a= 8 [s] → **OK**

Assessment for the deceleration

(1) Shortest deceleration time tds

· Shortest deceleration time $t_{ds} = \frac{(J_L + J_M + J_B) \times N_{max}}{9.55(T_M \times \beta + T_{LRmin})} = \frac{(0.0375 + 0.0068 + 0) \times 1800}{9.55(7.96 \times 0.2 + 0)} = 5.2$ [s]

Deceleration torque coefficient β: 0.2 Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30
Motor moment of inertia J_M: 0.0068[kg·m^2] Motor and brake characteristics in TECHNICAL NOTE No.30
Minimum load torque T_{LRmin}: The toughest condition for the deceleration, T_{LRmin} = 0 [N·m], is used

(2) Assessment for the deceleration

◎Assessment condition

Shortest deceleration time tds < Desired deceleration time td

· Assessment t_{ds}= 5.2 [s] < t_d= 8 [s] → **OK**

Regenerative power (when the deceleration time is 8s)

(1) Assessment for the consumable regenerative power

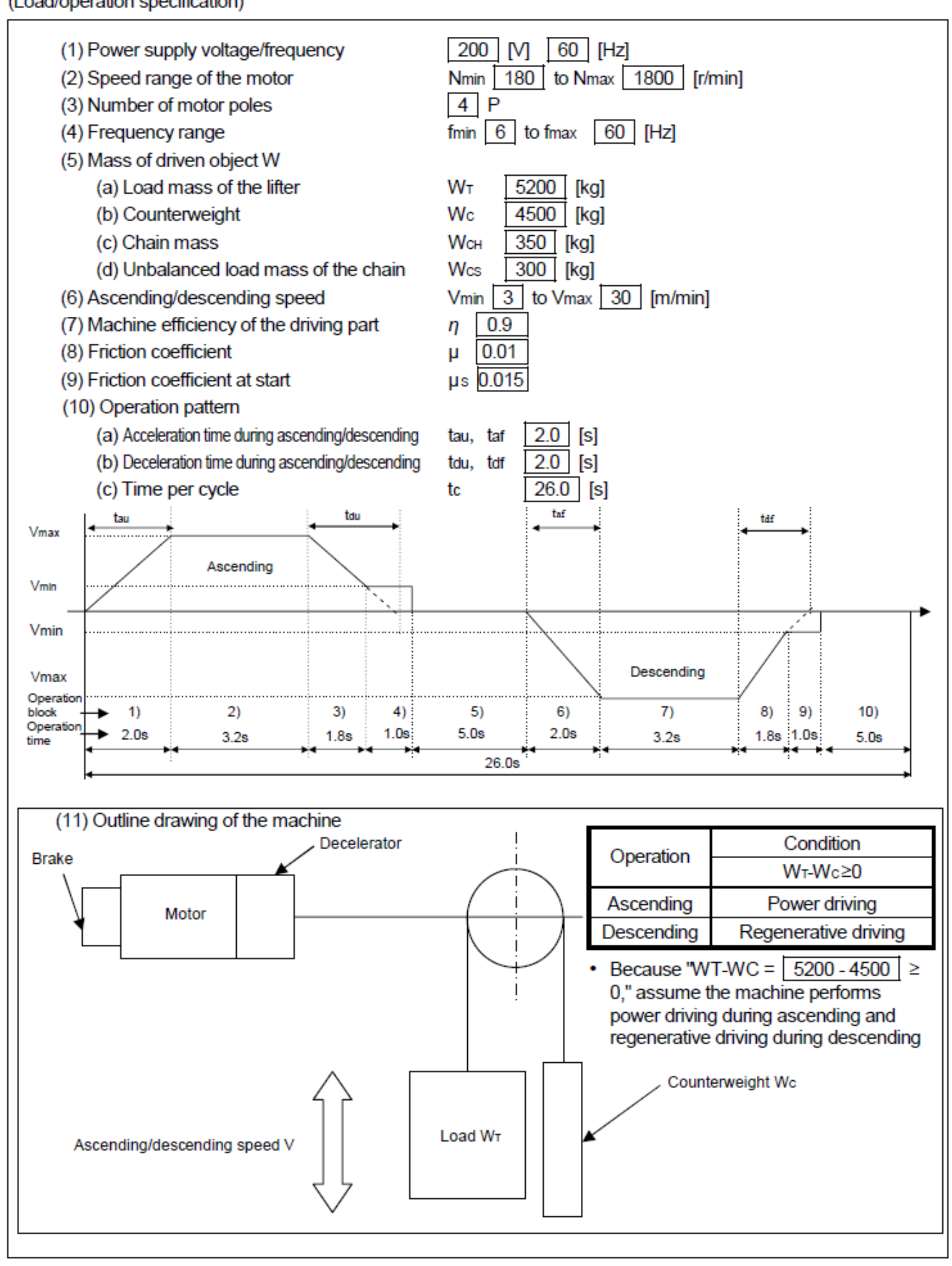
The regenerative power can be consumed by the capacitor regeneration, so the deceleration is confirmed to be available.

[Final selection]

Motor	SF-JR 1.5kW 4P
Inverter	FR-E520-1.5K V/F control (high torque boost setting)
Brake resistor	Not required (capacitor regeneration)

CHAPTER 8 SELECTION EXAMPLE FOR LIFT OPERATION (LIFT WITH COUNTERWEIGHT)

(Load/operation specification)



Calculation of required power and load torque

(1) Required power for the load P_{LR}

· Required power for the load $P_{LR} = \frac{W \times V_{max}}{6120 \times \eta} = \boxed{\frac{1000 \times 30}{6120 \times 0.9}} = \boxed{5.45}$ [kW]

Mass of driven object W: W= ∣ W_T-W_C ∣ +W_{CS}= ∣ 5200−4500 ∣ +300 =1000[kg]

(2) Load torque at motor shaft T_{LR}

· Load torque during power driving T_{LU}=

$$\frac{9.8 \times W \times V_{max}}{2\pi N_{max} \times \eta} + \frac{\mu \times 9.8 \times W_{ALL} \times V_{max}}{2\pi N_{max} \times \eta} = \boxed{\frac{9.8 \times 1000 \times 30}{2\pi \times 1800 \times 0.9} + \frac{0.01 \times 9.8 \times 10050 \times 30}{2\pi \times 1800 \times 0.9}} = \boxed{31.8} \text{ [N·m]}$$

Mass of driven object W:	W=W_T-W_C+W_{CS}=5200-4500+300=1000[kg]
	W_{ALL}=5200+4500+350=10050[kg]

·Load torque during regenerative driving T_{Lf}=

$$\frac{9.8 \times W \times \eta \times V_{max}}{2\pi N_{max}} = \boxed{\frac{9.8 \times -1000 \times 1.0 \times 30}{2\pi \times 1800}} = \boxed{-26.0} \text{ [N·m]}$$

(Calculate with "machine efficiency η =1" and "friction coefficient μ =0" considering the safety.)

Mass of driven object W: W=W_C-W_T-W_{CS}=4500-5200-300=-1000[kg]

· Load torque at motor shaft T_{LR}

Because the load torque during power driving T_{LU} > the load torque during regenerative driving T_{Lf}, perform the following calculations as $T_{LR} = T_{LU}$.

(3) Load moment of inertia at motor shaft J_L

· Load moment of inertia of the lifter $J_T = W_T \times \left(\frac{V_{max}}{2\pi \times N_{max}}\right)^2 = \boxed{5200 \times \left(\frac{30}{2\pi \times 1800}\right)^2} = \boxed{0.0366}$ [kg·m²]

· Load moment of inertia of the counterweight $J_C = W_C \times \left(\frac{V_{max}}{2\pi \times N_{max}}\right)^2 = \boxed{4500 \times \left(\frac{30}{2\pi \times 1800}\right)^2} = \boxed{0.0317}$ [kg·m²]

· Load moment of inertia of the chain $J_{CH} = W_{CH} \times \left(\frac{V_{max}}{2\pi \times N_{max}}\right)^2 = \boxed{350 \times \left(\frac{30}{2\pi \times 1800}\right)^2} = \boxed{0.0025}$ [kg·m²]

· Load moment of inertia at motor shaft $J_L = J_T + J_C + J_{CH}$ = $\boxed{0.0366+0.0317+0.0025}$ = $\boxed{0.0708}$ [kg·m²]

Selection of motor and inverter capacities (tentative)

(1) Selection of the motor capacity P_M (tentative)

$P_M = P_{LR} \times k_P$ = $\boxed{5.45} \times \boxed{1.2}$ = $\boxed{6.54}$ [kW] (Tentative selection with k_P = 1.2 (20% margin))

From above, tentatively select SF-JR 7.5 [kW] 4P

· Rated motor torque $T_M = \frac{9550 \times P_M}{N_M} = \boxed{\frac{9550 \times 7.5}{1800}} = \boxed{39.8}$ [N·m]

· Assessment for the motor capacity (tentative)

◎Assessment condition | Rated motor torque T_M ≥ Load torque T_{LR} |

· Assessment T_M= 39.8 [N·m] ≥ T_{LR} = 31.8 [N·m] → **OK**

(2) Selection of the inverter capacity (tentative)

Tentatively select the inverter capacity FR-A520-7.5K, which has the same capacity with the tentative selected motor. Because the inverter is used for a lift, assume using Advanced magnetic flux vect control.

Assessment for the start

(1) Starting torque of the motor

· Starting torque of the motor $T_{MS} = T_M \times \alpha_S \times \delta =$ 39.8×1.5×0.85 = 50.7 [N·m]

Starting torque coefficient α_S : 1.5 Hot coefficient δ : 0.85	Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30 Outline of Technical Note No.30 [DATA] in TECHNICAL NOTE No.30

· Load torque at start T_{LS} =

$$\frac{9.8 \times W \times V_{max}}{2\pi N_{max} \times \eta} + \frac{\mu_S \times 9.8 \times W_{ALL} \times V_{max}}{2\pi N_{max} \times \eta} = \frac{9.8 \times 1000 \times 30}{2\pi \times 1800 \times 0.9} + \frac{0.015 \times 9.8 \times 10050 \times 30}{2\pi \times 1800 \times 0.9} = 33.3 \text{ [N·m]}$$

(2) Assessment for the start

◎Assessment condition

Maximum starting torque of the motor T_{MS} ≥ Load torque at start T_{LS}

· Assessment T_{MS}= 50.7 [N·m] ≥ T_{LS}= 33.3 [N·m] → **OK**

Assessment for the low-speed and high-speed operations

(1) Assessment for the power low-speed operation

· Output torque of the motor at power low-speed operation

Output torque of the motor at power low-speed operation
$= T_M \times \alpha_m \times \delta =$ 39.8×1.5×0.85 = 50.7 [N·m]

Maximum short-time torque coefficient α_m : 1.5 (f_{min} at 6Hz) Hot coefficient δ : 0.85	Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30 Outline of Technical Note No.30 [DATA] in TECHNICAL NOTE No.30

·Assessment for the power low-speed operation

◎Assessment condition | $T_M \times \alpha_m \times \delta$ > Load torque T_{LU} |

· Assessment $T_M \times \alpha_m \times \delta$= 50.7 [N·m] > T_{LU}= 33.3 [N·m] → **OK**

(2) Assessment for the regenerative low-speed operation

· Output torque of the motor at regenerative low-speed operation

Output torque of the motor at regenerative low-speed operation

$=T_M \times \beta \times \delta =$ 39.8×1.0×0.85 = 33.8 [N·m]

Deceleration torque coefficient β	: 1.0 (f_{min} at 6Hz)	Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30
Hot coefficient	δ : 0.85	Outline of Technical Note No.30 [DATA] in TECHNICAL NOTE No.30

· Assessment for the regenerative low-speed operation

◎Assessment condition: $T_M \times \beta \times \delta$ > Load torque $|T_{Lf}|$

· Assessment $T_M \times \beta \times \delta =$ 33.8 [N·m] > $|T_{Lf}| =$ 26.0 [N·m] → OK

(3) Assessment for the power high-speed operation

· Output torque of the motor at power high-speed operation

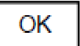
Output torque of the motor at power high-speed operation

$=T_M \times \alpha m =$ 39.8 × 1.5 = 59.7 [N·m]

Maximum short-time operation torque coefficient αm : 1.5 (f_{max} at 60Hz)
Power driving performance data in TECHNICAL NOTE No.30

· Assessment for the power high-speed operation

◎Assessment condition: $T_M \times \alpha m$ > Load torque T_{LU}

· Assessment $T_M \times \alpha m =$ 59.7 [N·m] > $T_{LU} =$ 33.3 [N·m] →  OK

(4) Assessment for the regenerative high-speed operation

· Output torque of the motor at regenerative high-speed operation

Output torque of the motor at regenerative high-speed operation

$=T_M \times \beta =$ 39.8 × 1.0 = 39.8 [N·m]

Deceleration torque coefficient β:1.0 (f_{max} at 60Hz)
Regeneration performance data in TECHNICAL NOTE No.30

· Assessment for the regenerative high-speed operation

◎Assessment condition: $T_M \times \beta$ > Load torque $|T_{Lf}|$

· Assessment $T_M \times \beta =$ 39.8 [N·m] > $|T_{Lf}| =$ 26.0 [N·m] → OK

المراجع العربيـــــــــــــــــــــــة

1- قواعد التمديدات الكهربية، وزارة الكهرباء والماء، الكويت.

2- كابلات القوى الكهربية، د. آسر على زكى، د. محمد صلاح الدين خليل، منشأة المعارف، الإسكندرية، 2001.

3- تخطيط وتصميم التمديدات الكهربية فى المشاريع الكبرى، د. هانى عبيد، دار الشروق، عمان، 2001.

4- التأريض الوقائي، د. آسر على زكى، د. أحمد حلمى، منشأة المعارف، الإسكندرية، 1983.

5- التأسيسات والمكائن الكهربية، د. مظفر أنور النعمة، دار اليازورى، عمان، 2006.

6- تقنية التوزيع الكهربى، المؤسسة العامة للتعليم الفنى والتدريب المهنى، السعودية.

7- شبكات كهربية، المؤسسة العامة للتعليم الفنى والتدريب المهنى، السعودية.

8- المحولات الكهربية وآلات التيار المستمر، د. محمد أحمد قمر، دار الراتب الجامعى، 1988.

9- إضاءة المصانع والأبنية العامة، د. عبد المنعم موسى، دار الراتب الجامعى، الاسكندرية، 1995.

10- الإضاءة، د. آسر على زكى، د. حسن الكمشوشى، منشأة المعارف، الإسكندرية، 1985.

11- الإضاءة، محمد موسى، محمد وليد الجلاد.

12- كتاب الإنارة العربية – عزت البارودى.

13- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني

- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني (مجلد 1) صدر عام 1994
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني (مجلد 2) صدر عام 1994
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني (مجلد 3) صدر عام 1994
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني – الأنظمة الخاصة (مجلد 4 – التأريض).
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني–الأنظمة الخاصة(مجلد5 – الوقاية من الصواعق)
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني– الأنظمة الخاصة (مجلد6–تحسين معامل القدرة)
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني – الأنظمة الخاصة (مجلد 7 – التوافقيات) .
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المبان – الأنظمة الخاصة (مجلد 8 – الملامسات والبادئات المستعملة في التحكم في المحركات من النوع 3– Phase Induction).
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني– الأنظمة الخاصة (مجلد 9– التحكم في الإضاءة)
- الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربية في المباني–الأنظمة الخاصة (مجلد 10 – مولدات الطوارئ)

المراجع الأجنبيـــــــــــــــــــــــــــة

1- Mechanical and Electrical Equipment for Buildings ،Benjamin Stien ،John Renolds ،John Wily & Sons ،8th Edition ،1992.

2- Mechanical and Electrical Systems for Buildings ،William K. Tao ،Richard R. Janis ،Prentice Hall ،2nd Edition ،2001.

3- Electrical Installation Handbook ،SIEMENS ،John Wily & Sons ،2000.

4- Electrical Installation Calculations ،B. Jenkins ،M. Coates ،Blackwell Science ،2nd Edition ،1998.

5- A Practical Guide to the Wiring Regulations ،Blackwell Science Ltd ، 1999.

6- Industrial lighting systems ،John P. Frier ،McGraw-Hill ،1980

7- Electrical power distribution system engineering ،Turan Gonen ،McGraw-Hill ،1986.

8- IEC 60364-5-52 Electrical Installations of Buildings - Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems

9- IEC 60364-5-54 Electrical Installations of Buildings - Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements.

10- IEC 60479-1 Effects of Current on Human Beings and Livestock - General aspects.

11- Electrical Installation Design ،Bill Atkinson ،Blackwell Science ،2nd edition ،2000.

12- Handbook of Electrical Design Details ،Neil Sclater ،John Trasiter ، McGraw- Hil Companies ،2003.

13- 2014 Electrical Inspection Manual with Checklists.

14- Dr. Lotfy Al-Shrarif, Lift and Escalator motor sizing with calculations and Examples. Life Report, Feb. 1999.

قائمة المحتويات

الفصل الأول

Contents

الفصل الثاني

المجموعة الرابعة : لوحات التوزيع ومعدات التحكم 169

الفَصْلُ الثَّالِث

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الفصل السادس

الفصل السابع

الفَصْلُ الثَّامِنُ

صدر للمؤلف :

- نظم الحماية الكهربية : 2019
- هندسة القوى الكهربية
- المرجع في محولات القوى الكهربية


الحمد لله رب العالمين